ÜBER DIE GRUNDLAGEN DER OPTISCHEN LOKALISATION NACH HÖHE UND BREITE.

VON.

A. TSCHERMAK
HALLE A. S.

MIT VIER ABBILDUNGEN IM TEXT.

SONDER-ABDRUCK AUS ERGEBNISSE DER PHYSIOLOGIE, IV. JAHRGANG. HERAUSGEGEBEN VON L. ASHER IN BERN UND K. SPIRO IN STRASSBURG.

WIESBADEN
VERLAG VON J. F. BERGMANN
1905.

Separat-Abdruck aus „Ergebnisse der Physiologie“. IV. Jahrgang.

IX.

Über die Grundlagen der optischen Lokalisation nach Höhe und Breite.

Von

A. Tschermak, Halle a. S.

Mit vier Abbildungen im Text.

Inhaltsverzeichnis.

Seite

I. Einleitung 517
II. Historische Vorbemerkungen 518
III. Die Tatsachen retinaler Diskrepanz oder Inkongruenz 527
A. Übersicht der Streckendiskrepanzen 527
B. Übersicht der Richtungsdiskrepanzen 538
IV. Deutung der Diskrepanzerscheinungen 544
A. Ordnungswerte und Grössenwerte 544
B. Einiges über den subjektiven Massstab oder den optischen Grössensinn . 547
C. Über die Natur der retinalen Ordnungswerte 553
1. Rolle des Labyrinths 553
2. Rolle der Augenmuskeln 558
V. Über die Herkunft der retinalen Lokalzeichen 560

Wir mögen uns die Mahnung gelten lassen, dass alles, was die fünf Sinne an allgemeinen Eindrücken bieten, nicht die Wahrheiten der äusseren Dinge, sondern die realen Qualitäten unserer Sinne sind. — Die subjektiven Erscheinungen sind überall in der Sinnesphysiologie der alleinige Schlüssel zur physiologischen Wahrheit.

Joh. Müller,
Physiologie des Gesichtssinnes
S. 49–50, 65.

I. Einleitung.

Kaum in einer anderen Frage der Sinnesphysiologie tritt uns der tiefgreifende Unterschied zwischen der älteren, objektivistischen und der neueren, subjektivistischen Anschauungsweise so deutlich entgegen wie im Problem

des Lokalisierens, speziell des optischen Lokalisierens. Doch soll in der nachstehenden kurzen Skizze nur die Spezialfrage herausgegriffen werden, auf welchen Grundlagen die Lokalisation unserer optischen Eindrücke nach Höhe und Breite beruht; das umfangreiche Kapitel der Tiefenlokalisation, welches gerade in den letzten Jahren vielfach experimentell bearbeitet wurde, erfordert eine gesonderte zusammenfassende Darstellung.

Auf dem obenbezeichneten Gebiete handelt es sich nicht etwa bloss um die Alternative: angeboren oder erworben. Tiefer und umfassender ist die Verschiedenheit der Grundanschauungen. Im Prinzip behauptet ja die objektivistische Anschauungsweise ein Erkennen, eine Wahrnehmung bestimmter geometrischer Verhältnisse, welche „objektiv" gegeben oder konstruierbar sind — mögen auch manche neuere Forscher die These eines psychologischen Konstruierens von Richtungs- oder Visierlinien nur mehr bildlich fassen. Demgegenüber kann als Kernpunkt der subjektivistischen Auffassung der Satz bezeichnet werden, dass das Lokalisieren eine subjektive Reaktionsweise darstellt auf Grund irgendwelcher physiologischer Einrichtung des nervösen Apparates. Diese subjektiv-räumliche Reaktionsweise, welche wesentlich durch die sogenannten Lokalzeichen oder Raumwerte der einzelnen nervösen Elemente bestimmt wird, gestattet uns — speziell mit E. Hering — ebenso von einem optischen Raumsinne zu sprechen wie von einem Licht- und Farbensinn[1]).

Erst in zweiter Linie steht für die subjektivistische, bezw. physiologische Auffassung die Frage, inwieweit das Lokalisieren in der Netzhaut oder im Zentralorgan begründet ist und inwieweit die unmittelbaren Eindrücke anderer Sinnesgebiete daran mitbeteiligt sind und endlich kompliziertere psychische Faktoren, wie Erfahrung und Gedächtnis, dabei mit in Betracht kommen. Die objektivistische Betrachtung hingegen beginnt gleich mit der Theorie eines psychologischen Konstruktionsprozesses.

Schliesslich ergibt sich für die beiden Anschauungsweisen allerdings auch das Problem, welchen Lokalisationsmomenten eine angeborene, spezifische Begründung zuzuschreiben ist, welch anderen hingegen der Charakter von Produkten des individuellen Erwerbes, der Erfahrung und Anpassung zukommt.

II. Historische Vorbemerkungen.

Ohne hier eigentlich eine Geschichte des optischen Lokalisationsproblems[2]) geben zu wollen, sei kurz an die wichtigsten Daten erinnert. — Die Lehre,

---

[1]) Den Vergleich zwischen der objektivistischen und der subjektivistischen Anschauungsweise auf diesem Gebiete habe ich speziell ausgeführt in den beiden Monographien „Die Hell-Dunkeladaptation des Auges" und „Kontrast und Irradiation" (Ergeb. d. Phys. **1**, 2, 1902 u. **2**, 2, 1903).

[2]) Eine solche wäre ein sehr verdienstliches Unternehmen, speziell eine Darstellung über Kants Verhältnis zu diesen Fragen (bezüglich des letzteren vergl. Liebmann, Zur Analysis der Wirklichkeit, 3. Aufl.). Neben den Werken von Helmholtz (49, I. A. 593—597,

dass wir unsere Gesichtsempfindungen längs gewisser Konstruktionslinien in den Aussenraum hinaus verlegen, die sogenannte Projektionstheorie, klingt schon an bei den antiken Denkern. Besonders die Philosophen des 18. Jahrhunderts, speziell Molyneux (1687), Locke (1709), Berkeley (1709), Jurin (1758) u. a. — aber auch Kepler, Scheiner, Pristley — bilden jene Idee weiter aus und vertreten zumeist eine rein empiristische Begründung des optischen Lokalisierens. Nach Porterfield (1759), d'Alembert (1761) und Bartels (1834) erfolgt hingegen die Projektion auf Grund einer angeborenen Einrichtung u. zw. längs der Normalen, die man in der betreffenden Netzhautstelle bezw. zu deren Tangente konstruieren kann — Bartels betonte die Verschiedenheit dieser subjektiven Richtstrahlen von den „objektiven" Strahlen des Lichteinfalles. Ihren vollendeten Ausdruck findet die Projektionslehre in Volkmanns[1]) Darstellung (134—137) aus dem Jahre 1836, welche die durch den hinteren Knotenpunkt laufenden Richtungslinien als Projektionslinien annimmt, ferner bei Treviranus (124, 1837), Mile (unter Polemik gegen Joh. Müller [83, 1837]), speziell aber bei Panum (94, 1858) und Nagel (90, 1861), denen sich Donders (30, 31, 1871) und Hasner (Theorie der Rückkonstruktion [48, 1873]), anschliessen. Auch die klassische Darstellung der Gesichtswahrnehmungen in der physiologischen Optik von Helmholtz (49), welcher die Visierlinien (durch das Zentrum der „Eintrittspupille" bezw. des kornealen Irisbildes laufend) als Richtungen der Projektion einführte, ist ganz wesentlich von derselben Grundidee beherrscht, ohne dass sich allerdings die Auffassung des Genies einfach in diese Schablone fassen liesse[2]).

620—621, II. A. 738—741, 765—766), E. Hering (54, 58), Wundt (144), Stumpf (120), Mach (77), sei noch folgende Literatur zitiert:

Ueberweg (131).

A. Classen, Wie orientieren wir uns im Raum durch den Gesichtssinn? Jena 1879.

E. Ackerknecht, Die Theorie der Lokalzeichen. Tübingen 1904.

C. Siegel, Entwickelung der Raumvorstellung des menschlichen Bewusstseins. Wien. 1899. Vergl. auch Deutsche Vierteljahrsschr. f. wiss. Philosophie. 24.

[1]) Später (140, 1863—1864) hat Volkmann über das binokulare Einfachsehen Anschauungen entwickelt, welche mit jenen E. Herings (54) wesentlich in Einklang stehen (vgl. Hering [56]).

[2]) So sagt Helmholtz, dass den Empfindungen, welche uns von einem bestimmten Orte der Netzhaut zugeleitet werden, gewisse Eigentümlichkeiten, nämlich ihre Lokalzeichen, zukommen. Für die Behauptung, dass wir irgend eine Art verborgener Kenntnis von der wirklichen Existenz und Lage der Netzhautstellen haben müssten, scheint ihm jedoch gar kein Grund vorzuliegen (49, I, S. 540—541; II, 681—682). Andererseits könne Volkmanns Theorie von der Projektion der Gesichtsempfindungen nach Richtungslinien „nicht als ein angeborenes und elementares Gesetz aufgefasst werden, welches an und für sich schon die Richtung des Gesehenen bestimmte" (49, I, S. 621; II, 765). Die Beurteilung der Grössenverhältnisse (Richtungen, Winkel, Strecken) im Sehfelde beruht nach Helmholtz ursprünglich auf Abmessungen mittels der Augenbewegungen — erinnernd an die Lehre von Berkeley und Bain, der Raum sei für unser Empfinden nichts anderes als eine Summe von Bewegungsgefühlen — (so bereits 1855 in dem ganz auf dem Boden der Projektionstheorie stehenden Vortrag: Über das Sehen des Menschen, Leipzig 1855). Über die bezügliche Stellung von Brücke, Wundt, Cornelius, Storch u. a. siehe unten.

Die Emanzipation von der Projektionslehre ward bereits von Joh. Müller eingeleitet. Mit kritischem Scharfblick bezeichnete er die These, dass die Netzhaut die Direktionslinien der Lichtstrahlen bis zu den Objekten empfinde, als eine Mystifikation. „So muss es aber kommen, wenn man in die Erörterung der Bedingungen des Sehens die Physiologie desselben setzt, ohne die ersten physiologischen Grundbegriffe der Sinne befestigt zu haben" (86, S. 56—57). Joh. Müller setzte an die Stelle der Projektionslehre die Theorie von der Selbstanschauung der Netzhaut oder von der Ortsidentität[1]). Die Anordnung der optischen Eindrücke zur Mosaik des subjektiven Sehfeldes sei die Folge der Anordnung, welche den einzelnen gereizten Netzhautelementen zukommt, und zugleich der Ausdruck einer entsprechenden Mosaikanordnung der zugehörigen Hirnrindenelemente. Gewiss ist der mit dieser Grundidee gegebene Fortschritt unverkennbar. Doch lag in jener psychologisch gewiss bedenklichen Auffassung zugleich eine Gefahr. Der Einwurf eines späteren Forschers, warum wir nicht die Grenzen und Zwischenräume der einzelnen Netzhautelemente wahrnehmen, weist als immerhin übertriebene Pointe darauf hin. Im besonderen müssten die Lokalisationsunterschiede und die Lagedifferenzen der einzelnen retinalen Elemente, müsste subjektives Lokalzeichen und objektiv-geometrischer Lagewert einander völlig parallel gehen.

Erst E. Hering (54—58) hat sozusagen das Erbe Joh. Müllers angetreten und darauf fussend eine umfassende Theorie des optischen Raumsinns geschaffen — für das Binokularsehen speziell die Theorie der identischen Sehrichtungen korrespondierender Netzhautstellen. Ohne hier eine eigentliche Darstellung von Herings Anschauungen geben zu wollen, sei nur als leitender Gedanke hervorgehoben: den einzelnen nervösen Elementen des Sehorganes (von der Netzhaut bis zur Hirnrinde gerechnet) kommen charakteristische Lokalzeichen[2]) oder Raumwerte als primäre, selbständige Eigenschaften zu und zwar ist diese Funktion, bezw. die subjektive Sehrichtung, im Prinzip unabhängig von der Lage des betreffenden Elementes zu irgendeinem Konstruktionsmittelpunkt, unabhängig von der Richtungs- oder Visierlinie, ja auch unabhängig von dem Orte des Elementes innerhalb der Netzhautmosaik. Nicht in den Aussenraum hinaus werden die Gesichtseindrücke verlegt, vielmehr erscheint der „objektive" Aussenraum und der subjektive

---

1) „Die Netzhaut sieht in jedem Sehfelde nur sich selbst in ihrer räumlichen Ausdehnung im Zustande der Affektion" (86, S. 55, speziell Kap. II, S. 39—67, auch Kap. III; ferner Lehrbuch der Physiologie, Bd. II, Buch V, I. Abschn., Kap. III, S. 349—364).

2) Nach der ursprünglichen Fassung von Lotze, dem Schöpfer dieses Begriffes (Mediz. Psychologie 1852, speziell S. 325, 355; vergl. auch Rev. philos. 4, 345, 1877), sollte allerdings das Lokalzeichen eine zweite Empfindung ausser der optischen bezw. haptischen sein, nicht ein blosses Moment derselben darstellen. Demgegenüber hat vor allem C. Stumpf (122) betont, dass die Räumlichkeit ebenso wie die Intensität und Qualität ein Moment der Empfindung sei, eine Abstraktion also, die uns nur darum gelingt, weil wir beobachten, dass die Empfindung sich in mehrfacher Weise verändern kann.

Anschauungsraum oder Sehraum, erscheinen geometrische Strecken und subjektive Abstände, geometrische Richtungen und Sehrichtungen als durchaus inkommensurabel, mag auch das Beschreibungsbild der Euklidschen Geometrie für den Aussenraum sichtlich an die Dreidimensionalität des Sehraumes anknüpfen (vergl. Hering [54], § 68—71, S. 164—170, Kirschmann [67], Cyon [21]).

Diese speziell von E. Hering (54—58), Mach (77) und Stumpf (120—123) vertretene Anschauungsweise bildet die Grundlage für die subjektivistische Lokalisationsphysiologie der Gegenwart, welche in philosophischer Beziehung an Lotze anknüpft. Auch die folgenden Ausführungen stehen ganz wesentlich auf diesem Boden.

Literatur.

1. G. Alexander u. R. Bárány, Psychophysiologische Untersuchungen über die Bedeutung des Statolithenapparates für die Orientierung im Raum an Normalen und Taubstummen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **37**, 321—362, 414—457. 1904.
2. R. P. Angier, Vergleichende Messung der kompensatorischen Rollungen beider Augen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **37**, 225—249. 1904.
3. H. Aubert, Über den blinden Fleck und die Begrenzung der scharf sehenden Stelle im Auge des Menschen. Jahresber. d. schles. Ges. f. vaterländ. Kultur. **33**, 25—28. 1855.
4. H. Aubert u. Förster, Über den Raumsinn der Netzhaut. Jahresber. d. schles. Ges **34**, 33—34. 1856.
5. H. Aubert, Eine scheinbare bedeutende Drehung von Objekten bei Neigung des Kopfes nach rechts und links. Virchows Arch. **20**, 381—393. 1860. Vgl. Physiologie der Netzhaut. Breslau 1865. S. 275—278 u. Physiol. Optik. Handbuch der Ophthalm. von Graefe-Saemisch. 1876. S. 667.
6. Derselbe, Physiologische Studien über die Orientierung. Unter Zugrundelegung von Yves Delage, Études experim. sur les illusions statiques et dynamiques de direction. Tübingen 1888.
7. Badal, Micropsie, macropsie et metamorphopsie rétiniennes. Rev. hebdom. des sciences méd. de Bordeaux 1881, ref. Ann. d'Oculist. **85**, 182—185. 1881.
8. J. M. Baldwin, The effect of size-contrast upon judgements of position in the retinal field. Psychol. Review. **2** (3), 244—259. 1895.
9. E. Berthold, Über die Bewegungen des kurzsichtigen Auges. Archiv f. Ophth. **11** (3), 107—141. 1865.
10. P. Bonnier, Le vertige. 2. éd. Paris. 1904.
11. B. Bourdon, La sensibilité musculaire des yeux. Rev. philos. 1897 octobre. p. 413.
12. Derselbe, La perception visuelle de l'espace. Bibl. de pédag. et de psychologie par Alfred Binet. Paris. C. Reinwald. 1902.
13. J. Breuer u. A. Kreidl, Über die scheinbare Drehung des Gesichtsfeldes während der Einwirkung einer Zentrifugalkraft. Pflügers Archiv. **70**, 494—510. 1898.
14. A. F. Buck, Observations on the overestimation of vertical as compared with horizontal lines. Centrib. to Philos. Univ. of Chicago. **2** (2), 7—11. 1899.
15. A. Classen, Das Schlussverfahren des Sehaktes. Leipzig 1863. Vergl. auch Arch. f. Ophth. **10** (2) und Ges. Abh. über physiologische Optik. 1868 speziell S. 84 ff.
16. Ch. Contejean u. A. Delmas, Sur la „mouvement de roue" du globe oculaire se produisant pendant l'inclinaison latérale de la tête. Arch. de physiol. **6**, 687—692. 1894. (ebenso A. Delmas, Thèse. Paris 1894).
17. C. S. Cornelius, Die Theorie des Sehens und räumlichen Vorstellens. Halle 1861.
18. Derselbe, Zur Theorie des Sehens. Halle 1864.

41. R. Fischer, Weitere Grössenschätzungen im Gesichtsfeld. Graefes Archiv f. Ophthalm. 37 (3), 55—85. 1891.
42. M. Frank, Beobachtungen betreffs der Übereinstimmung der Hering-Hillebrandschen Horopterabweichung und des Kundtschen Teilungsversuches. Pflügers Archiv. 109, 62—72. 1905.
43. H. Friedenwald, Über die durch korrigierende Gläser hervorgerufene binokulare Metamorphopsie. Archiv f. Augenheilkunde. 26, 362—370. 1893.
44. G. F. Fullerton, The doctrine of space and time. Philos. Rev. 10, 113—123, 229—240, 375—385, 488—504. 1901.
45. O. Funke, Zur Lehre vom blinden Fleck. Ber. d. naturforsch. Ges. zu Freiburg i. B. 3 (3), 12—13. 1864.
46. A. Genzmer, Untersuchungen über die Sinneswahrnehmungen des neugeborenen Menschen. Halle 1873.
47. Guillery, Über das Augenmass der seitlichen Netzhautteile. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 10, 83—98. 1896.
48. Hasner, Beiträge zur Physiologie und Pathologie des Auges. Prag 1873 Vergl. auch „Zur Theorie der Sehempfindung". Arch. f. Ophth. 21 (1), 43—46. 1875.
49. Helmholtz, Handbuch der physiologischen Optik. I. A. Leipzig. 1856—1866. II. A. 1885—1896.
50. Derselbe, Über die Bewegungen des menschlichen Auges. Verh. d. naturhist.-med. Ver. z. Heidelberg (8. Mai 1863). 3 (3), 62—67, speziell 66. 1865.
51. Derselbe, Über den Horopter. Verh. d. naturhist.-med. Ver. zu Heidelberg (4. Dez. 1863). 3 (3), 122—124. 1865.
52. Derselbe, Über die normalen Bewegungen des menschlichen Auges. Archiv f. Ophth. 9 (2), 153—214, speziell 189. 1863.
53. Derselbe, Über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinneseindrücke. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 7, 81—96. 1894.
54. E. Hering, Beiträge zur Physiologie. 5 Hefte. 1861—1864. Leipzig.
55. Derselbe, Die sog. Raddrehung des Auges in ihrer Bedeutung für das Sehen bei ruhendem Blick. Reichert-du Bois Arch. f. Physiol. 1864. S. 278—285.
56. Derselbe, Bemerkungen zu Volkmanns neuen Untersuchungen über das Binokularsehen. Reichert-du Bois Arch. f. Physiol. 1864. S. 303—319.
57. Derselbe, Die Gesetze der binokularen Tiefenwahrnehmung. Reichert-du Bois Archiv f. Physiol. 1865. S. 82—97 speziell 82, und S. 152—165, speziell 161.
58. Derselbe, Der Raumsinn und die Bewegungen des Auges. Hermanns H.-B. d. Phys. 3 (1). 1879 spez. 1. Kap. Die Korrespondenz der Netzhäute.
59. F. Hillebrand, Die Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 5, 1—60. 1893.
60. E. Hitzig, Über die beim Galvanisieren des Kopfes entstehenden Störungen der Muskelinnervation und der Vorstellungen vom Verhalten im Raume. Reichert-du Bois Archiv 1871. S. 716—770.
61. Derselbe, Der Schwindel. Nothnagels Spezielle Pathologie und Therapie. 12 (2). Wien 1898.
62. F. B. Hofmann u. A. Bielschowsky, Über die der Willkür entzogenen Fusionsbewegungen der Augen. Pflügers Archiv. 80, 1—40. 1900. Vergl. auch F. B. Hofmann, Einige Fragen der Augenmuskelinnervation. I. Die motorische Anpassung des Auges. Ergeb. d. Physiol. 2 (2), 799—817. 1903.
63. W. Holtz, Über einige Augentäuschungen beim Anblick geometrischer Figuren. Wiedemanns Ann. d. Physik. 10, 158—160. 1880.
64. Derselbe, Über den unmittelbaren Grösseneindruck in seiner Beziehung zur Entfernung und zum Kontrast. Nachrichten von der Göttinger Ges. d. Wiss. 159—167. 1893.
65. Derselbe, Über den unmittelbaren Grösseneindruck bei künstlich erzeugten Augentäuschungen, ebenda S. 496—504. 1893.
66. James, Sense of dizziness in deafmutes. Journ. of Otol. 1883. (Zitiert nach Kreidl [69]).

67. A. Kirschmann, Die Dimensionen des Raumes. Eine kritische Studie. Philos. Stud. **19**, 310—417. 1902. Wundt-Festschrift I. Teil. Auch sep.
68. W. Koster, Zur Kenntnis der Mikropie und Makropie. Arch. f. Ophth. **42** (3), 134 bis 178. 1896. — Nachtrag zu meinem Aufsatze: „Zur Kenntnis der Mikropie und Makropie." Arch. f. Ophth. **45** (1), 90—96. 1898, u. Arch. of ophthalm **42**, 134.
69. A. Kreidl, Beiträge zur Physiologie des Ohrlabyrinths auf Grund von Versuchen an Taubstummen. Pflügers Archiv **51**, 119—150 (s. auch Breuer u. A. Kreidl [13]).
70. Kundt, Untersuchungen über das Augenmass und optische Täuschungen. Ann. d. Physik. **120**, 118—158. 1863.
71. Landolt, Handb. d. ges. Augenheilk. **2** (2), 660. 1876.
72. C. J. A. Leroy, De la perception monoculaire des grandeurs ou des formes apparentes. Arch. d'ophthalm. **5**, 216. 1885.
73. Th. Lipps, Die Raumanschauung und die Augenbewegungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **3**, 123—171. 1892.
74. J. Loeb, Über den Nachweis von Kontrasterscheinungen im Gebiete der Raumempfindung des Auges. Pflügers Archiv. **60**, 509—518. 1895.
75. Derselbe, Über Kontrasterscheinungen im Gebiete der Raumempfindungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **16**, 298—299. 1898. (Contra Lipps, ebenda **15**, 132.)
76. R. Mc Dougall, The subjective horizon. Psychol. Rev., Mon. Sup. 4; Harvard Psych. Studies. **1**, 145—166. 1903.
77. E. Mach, Bemerkungen zur Lehre vom räumlichen Sehen. Fichtes Zeitschr. f. Philos. 1865, abgedr. in Populär-wissensch. Vorlesungen, 3. Aufl., Leipzig 1903. Vergl. Analyse der Empfindungen, 4. Aufl., Jena 1904, und Erkenntnis und Irrtum. Leipzig 1905, bes. S. 331—346.
78. Derselbe, Grundlinien der Lehre von den Bewegungsempfindungen. Leipzig 1875.
79. Mandelstamm, Beitrag zur Lehre von der Lage korrespondierender Netzhautpunkte. Archiv f. Ophth. **18** (2), 133—141. 1872.
80. G. Martius, Über die scheinbare Grösse der Gegenstände und ihre Beziehung zur Grösse der Netzhautbilder. Philos. Stud. **5**, 601—617. 1889.
81. G. Mayerhausen, Über die Grössenverhältnisse der Nachbilder bei geschlossenen Lidern. Arch. f. Ophthalm. **29** (2), 23—44. 1883.
82. G. Meissner, Beiträge zur Physiologie des Sehorgans. Leipzig 1854.
83. J. Mile, Über Richtungslinien des Sehens. Pogg. Ann. **42**, 37—71, 235—263. 1837. — Einwendungen gegen die Richtigkeit der Annahme, dass die Zentralenden der primitiven Nervenfasern durch ihre relative Lage dem Empfindungsvermögen die relative Lage der Peripherieenden anzeigen sollen. Müllers Arch. f. Anat. u. Physiol. 1838. S. 387—412.
84. F. D. A. C. van Moll, Über die normale Inkongruenz der Netzhäute. D. J. und Onderzoek. physiol. Labor. Utrecht. 3. R. **3** (1), 39. 1874.
85. Derselbe, Over afwezigheid van rollbeweging bij zijdelingsche blick richting. Feestbundel a. F. C. Donders Jub. Amsterdam 1888. p. 1.
86. J. Müller, Zur vergleichenden Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1826.
87. H. Münsterberg, „Augenmass". Beitr. z. experim. Psychol. H. 2, 125—181. Freiburg i. B., Mohr. 1889.
88. M. E. Mulder, Ons ordeel over vertical, bij neiging van het hoofd naar rechts of links Feestbundel a. F. C. Donders Jub., Amsterdam. p. 340—352. 1888. — Unser Urteil über Vertikal bei Neigung des Kopfes nach rechts oder links. Groningen, Noordhoff. 1898. 12 S.
89. Derselbe, Über parallele Rollbewegungen der Augen. Archiv f. Ophth. **21** (1), 68—124. 1875, und: De la rotation compensatoire de l'oeil en cas d'inclination à droite ou à gauche de la tête. Arch. d'ophthalm. **27**, 465—470. 1897.
90. A. Nagel, Das Sehen mit zwei Augen und die Lehre von den identischen Netzhautstellen. Leipzig und Heidelberg 1861.
91. W. A. Nagel, Über kompensatorische Raddrehungen der Augen. Zeitschr. f. Psych. u. Physiol. d S.-O. **12**, 346—347. 1896.

92. W. A. Nagel, Über das Aubert'sche Phänomen und verwandte Täuschungen über die vertikale Richtung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **16**, 373 - 398. 1898.
93. J. J. Oppel, Über geometrisch-optische Täuschungen. Jahresber. d. physikal. Vereins zu Frankfurt a. M. 1854 - 1855. S. 37 - 47.
94. P. L. Panum, Physiologische Untersuchungen über das Sehen mit zwei Augen. Kiel 1858.
95. Derselbe, Die scheinbare Grösse der gesehenen Objekte. Arch. f. Ophth. **5** (1), 1 - 36. 1859.
96. Preyer, Die Seele des Kindes. 6. Aufl. besorgt von L. F. Schaefer. Leipzig 1904.
97. E. Raehlmann u. L. Witkowski, Über atypische Augenbewegungen. Du Bois Archiv f. Physiol. 1877. S. 454 - 478.
98. E. Raehlmann, Physiologisch-psychologische Studien über die Entwicklung der Gesichtswahrnehmungen bei Kindern und bei operierten Blindgeborenen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **2**, 53 - 96. 1891.
99. F. von Recklinghausen, Netzhautfunktionen. Archiv f. Ophthalm. **5** (2), 127 - 179. 1859.
100. Derselbe, Zur Theorie des Sehens. Pogg. Ann. **110**, 65 - 92. 1859.
101. C. Reichel, Über den Grössenkontrast. D. J. Breslau 1899.
102. H. Sachs, Die Entstehung der Raumvorstellung aus Sinnesempfindungen. Psychiatr. Abh. herausgegeb. von C. Wernicke. Nr. 5. Breslau 1897.
103. M. Sachs, Zur Erklärung der Mikropie (nebst Bemerkungen über die geschätzte Grösse gesehener Gegenstände). Archiv f. Ophthalm. **44** (1), 87 - 126. 1897. — Weitere Bemerkungen zur Mikropiefrage. Ebenda. **46**, 621 - 630. 1898.
104. M. Sachs u. Wlassak, Die optische Lokalisation der Medianebene. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **22**, 23 - 46. 1900.
105. M. Sachs u. J. Meller, Über die optische Orientierung bei Neigung des Kopfes gegen die Schulter. Arch. f. Ophth. **52** (3), 387 - 401. 1901.
106. Dieselben, Untersuchungen über die optische und haptische Lokalisation bei Neigungen um eine sagittale Achse. Zeitschr. f. Psych. u Phys. d. S.-O. **31**, 89 - 109. 1903.
107. Dieselben, Über einige eigentümliche Lokalisationsphänomene in einem Falle von hochgradiger Netzhautinkongruenz. Archiv f. Ophth. **57**, 1 - 23. 1903.
108. R. Schirmer, Makropsie und Mikropsie. Eulenburgs Real-Enzykl. f. d. ges. Heilkde. **8**, 525. 1881.
109. Derselbe, Metamorphopsie. Eulenburgs Real-Enzykl. für die gesamte Heilkunde. **9**, 28. 1882.
110. M. J. Schleiden, Zur Theorie des Erkennens durch den Gesichtssinn. Leipzig 1861.
111. W. Schlodtmann, Ein Beitrag zur Lehre von der optischen Lokalisation bei Blindgeborenen. Arch. f. Ophth. **54** (2), 256 - 267. 1902.
112. Schoeler, Zur Identitäts-Frage. Arch. f. Ophth. **19** (1), 1 - 55. 1873.
113. C. E. Seashore u. M. C. Williams, On illusion of length. Univ. of Jowa studies in psychology. **3**, 29 - 37. 1902.
114. A. Skrebitzky, Ein Beitrag zur Lehre von den Augenbewegungen Archiv f. Ophth. **17** (1), 107 - 116. 1871. Auch Onderzoek. in het Phys. Lab. te Utrecht. **3**, 424. 1870.
115. St. v. Stein, Über einen neuen, selbständigen, die Augenbewegungen automatisch regulierenden Apparat. Zentralbl. f. Physiol. Nr. 9. S. 222 - 230. 1900.
116. J. G. Steinbuch, Beitrag zur Physiologie der Sinne. Nürnberg 1811, speziell S. 154 bis 270.
117. G. Stevens, Some new methods of examination of the position of the vertical meridians of the retina. Ophthalm. Record. **7**, 220. 1898.
118. Derselbe, Die Richtungen der scheinbar vertikalen und horizontalen Netzhautmeridiane und ihre physiologischen und pathologischen Verschiedenheiten nebst einer Beschreibung des Klinoskops. Arch. of ophthalm. **26** (2). Deutsch v. Abelsdorff Archiv f. Augenheilkde. **37**, 275 - 286. 1898.

119. E. Storch, Über die mechanischen Korrelate von Raum und Zeit, mit kritischen Betrachtungen über die E. Heringsche Theorie vom Ortssinne der Netzhaut. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 26, 201—226. 1901. Vergl. auch: Muskelfunktion und Bewusstsein. Wiesbaden 1901 und Über das räumliche Sehen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 29, 22—43. 1902.
120. C. Stumpf, Über den physiologischen Ursprung der Raumvorstellung. Leipzig 1873.
121. Derselbe, Psychologie und Erkenntnistheorie. Abhandl. d. bayr. Akad. d. Wiss. 1891. S. 485—486. Philos. Philolog. Klasse.
122. Derselbe, Zum Begriff der Lokalzeichen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. 4, 70—73. 1892.
123. Derselbe, Über die Tiefenunterschiede der Gesichtsempfindungen. Sitzungsber. d. Berl. Akad. 47, 867. 1899.
124. G. R. Treviranus, Resultate neuer Untersuchungen über die Theorie des Sehens. Bremen 1837, speziell S. 72—90.
125. A. Tschermak, Über anomale Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute bei einem Schielenden. Archiv f. Ophth. 47 (3), 508—550. 1899. Vergl. Autoreferat über diese Abhandlung, Zentralbl. f. prakt. Augenheilkde. 1899 Juli. S. 214—216. — Besprechung. Ebenda 1900. S. 209—213. — Über einige neuere Methoden zur Untersuchung des Sehens Schielender. Ebenda 1902 Nov. Dez. — W. Schlodtmann, Studien über anomale Sehrichtungsgemeinschaft bei Schielenden. Archiv f. Ophth. 51 (2), 256—294. 1900.
126. Derselbe, Über physiologische und pathologische Anpassung. Leipzig, Veit & Co. 1900. 30 S.
127. Derselbe, Beitrag zur Lehre vom Längshoropter. (Über die Tiefenlokalisation bei Dauer- und bei Momentreizen. Nach Beobachtungen von Dr. T. Kiribuchi.) Pflügers Archiv. 81, 328—348. 1900.
128. Derselbe, Über die absolute Lokalisation bei Schielenden. Archiv f. Ophth. 55 (1), 1—45. 1902.
129. Derselbe, Neue Untersuchungen über Tiefenwahrnehmung mit besonderer Rücksicht auf deren angeborene Grundlage. Vortrag auf dem I. Kongress für experim. Psychologie zu Giessen. Bericht S. 28—29, Leipzig 1904.
130. Derselbe, Das Anpassungsproblem in der Physiologie der Gegenwart. Arch. des sciences biol. St. Petersburg 1904. (Festschrift für J. P. Pawlow.) 11, Suppl., 79—96.
131. Ueberweg, Zur Theorie der Richtung des Sehens. Zeitschr. f. ration. Medizin (3). 5, 268—282. 1858.
132. V. Urbantschitsch, Über Störungen des Gleichgewichtes und Scheinbewegungen. Zeitschr. f. Ohrenheilkde. 21, 234—294. 1897.
133. Derselbe, Über die Beeinflussung subjektiver Gesichtsempfindungen. Pflügers Archiv. 94, 347—448. 1903.
134. A. W. Volkmann, Neue Beiträge zur Physiologie des Gesichtssinnes. Leipzig 1836.
135. Derselbe, Über die Lage des Kreuzungspunktes der Richtungsstrahlen des Lichtes im ruhigen und bewegten Auge. Pogg. Ann. 45, 207—226. 1838.
136. Derselbe, Revision einiger in meinen Beiträgen zur Physiologie des Gesichtssinnes aufgestellter Leitsätze. Müllers Archiv. 1843. S. 1—13.
137. Derselbe, Art. Sehen in R. Wagners Handwörterbuch der Physiologie. 3 (1), 265 bis 351. 1846.
138. Derselbe, Über einige Gesichtsphänomene, welche mit dem Vorhandensein eines unempfindlichen Fleckes im Auge zusammenhängen. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-Physik. Cl. S. 27—50. 1853, und Fechners Zentralbl. 1854. S. 57—72.
139. Derselbe, Mitteilung über identische Netzhautstellen. Monatsber. d. Berl. Akad. 13. Aug. 1863. S. 394—395.
140. Derselbe, Physiolog. Untersuchungen aus d. Gebiete der Optik. Heft I. Leipzig 1863. Kap. V. Über Ursprüngliches und Erworbenes in den Raumwahrnehmungen. S. 139—180. — Heft II. Leipzig 1864. Kap. VI. Von dem Einfachsehen mit zwei Augen.

141. E. H. Weber, Über den Raumsinn und die Empfindungskreise in der Haut und im Auge. Ber. d. sächs. Ges. d. Wiss. Math.-Physik. Kl. 1852. S. 85—164, speziell S. 147—158, und Fechners Z.-Bl. 1853. S. 929—941.
142. v. Wittich, Studien über den blinden Fleck. Archiv f. Ophth. **9** (3), 1—38. 1863.
143. M. Woinow, Über das Sehen mit dem blinden Fleck und seiner Umgebung. Archiv f. Ophthalm. **15** (2), 155—166. 1869.
144. W. Wundt, Beiträge zur Theorie der Sinneswahrnehmung. Leipzig und Heidelberg 1862.
145. Derselbe, Grundzüge der physiologischen Psychologie. 4. A. Leipzig 1893.
146. Derselbe, Zur Theorie der räumlichen Wahrnehmungen. Philos. Studien. **14** (1), 1—118. 1898.

III. Die Tatsachen retinaler Diskrepanz oder Inkongruenz.

Unser optisches Lokalisieren nach Höhe und Breite beruht nach der eben adoptierten Anschauung in erster Linie auf den selbständigen Lokalzeichen oder Raumwerten der einzelnen Mosaikelemente des Sehorganes. Vielleicht der sinnfälligste Beweisgrund für diesen Satz, zugleich ein bedeutsames Argument wider die Projektionstheorie sowie gegen die Lehre von der Selbstanschauung der Netzhaut ist gegeben durch den Nachweis von retinalen Dikrepanzen oder Inkongruenzen d. h. von Widersprüchen zwischen der geometrischen Lage und dem Lokalzeichen der einzelnen Netzhautelemente, Widersprüchen zwischen objektiv Räumlichem und subjektiv Räumlichem.

A. Übersicht der Streckendiskrepanzen.

Es handelt sich hierbei einerseits um sog. Abstands- oder Streckentäuschungen, andererseits um Richtungstäuschungen. Die spezielle Bedeutung dieser typischen Abweichungen des Augenmasses ist m. E. darin zu erblicken, dass sie uns erkennen lassen, dass der Eindruck gleicher Abstände nicht durch äquidistante Netzhautelemente vermittelt wird, ebenso der Eindruck einer bestimmten Richtung nicht durch Elementenreihen von „objektiv gleicher“ Richtung. Subjektiv gleichwertige Elemente haben nach Ausweis der Diskrepanzerscheinungen nicht genau kongruente Lage, die Winkel der zugehörigen Richtungs- oder Visierlinien stimmen nicht genau überein. — Zunächst seien die Äusserungen von Streckendiskrepanz behandelt. Diese Bezeichnung sei im Sinne des Vergleiches mehrerer Strecken oder Abstände untereinander, also im Sinne von relativer Distanz gebraucht. Die Bewertung einer einzelnen Strecke an sich gehört zum sog. Massstabproblem, welches später gesondert erörtert werden soll. Da es sich hier um den Vergleich der verschiedenen Regionen einer und derselben Netzhaut handelt, ist bei allen Untersuchungen über Strecken- oder Richtungsdiskrepanzen Fixation des Kopfes durch einen Stirn- oder Gebisshalter, Festhalten des Blickes, im allgemeinen auch Benützung nur eines Auges und Einhalten der Primärstellung der Augen unerlässliche Vorbedingung. Die sog. Strecken- und Richtungstäu-

schungen, welche bei bewegtem Blicke zur Beobachtung kommen und im allgemeinen von weit geringerem Betrage sind als bei fixiertem Blick, bleiben für die hier zu gebende Darstellung ausser Betracht. Auch ist bei all den geschilderten Beobachtungen vorausgesetzt, dass jeder äussere Anlass zu einer Ungleichartigkeit des subjektiven Massstabes im Sehfelde vermieden wird (vergl. unten).

Das erste Beispiel einer sog. Streckentäuschung bei festgehaltenem Blick, bezw. einer Diskrepanz zwischen subjektivem Lokalzeichen und objektivem Lagewert, bildet der Kundtsche Teilungsversuch. Bei der Aufgabe eine horizontale Strecke nach dem Augenmass zu teilen, während man dauernd und zwar mit nur einem Auge die teilende Spitze betrachtet, wird nach Kundt (70) der nach der Wange hin gelegene Abschnitt regelmässig etwas grösser gemacht als der nach der Nase zu gelegene. Aus seinen Resultaten sei nur das folgende herausgehoben: eine Strecke von 100 mm wurde auf 226 mm Distanz nach dem Verhältnis geteilt aussen: innen = 50,33 : 49,67 (L. A.) bezw. 50,155 : 49,845 (R. A.). Ein entgegengesetztes Resultat erhielten zwar H. Münsterberg (87) und R. Fischer (40; aussen : innen = 113,15 : 116,21 R. A. bezw. 114,49 : 115,44 L. A.), doch dürfte dies auf eine von der Regel abweichende Eigentümlichkeit ihrer Augen zu beziehen sein. F. Hillebrand (59) konnte nämlich an sich und anderen das Ergebnis von Kundt — Überschätzung der im Gesichtsfelde nasal gelegenen, auf der Netzhaut temporal abgebildeten Strecke — messend bestätigen; die Differenzen bei nicht zu kleinen Strecken betrugen 6—20′. Analoges fand Feilchenfeld (36), allerdings erst bei relativ grosser Exzentrizität (Gesichtswinkel der Gesamtstrecke über 53,5°); bis dahin halbierte er ohne konstanten Fehler[1]). Zu demselben Ergebnis wie die Kundtsche Teilung führt der Versuch auf einer grossen, schwarzen Scheibe bei gegebener Einstellung der Fixiermarke (wagrechte Nadel) und einer Abstandsmarke (weisses Scheibchen) ein zweites weisses Scheibchen auf der anderen Seite solange fein abgestuft, messend (in einem horizontalen Spalt oder an einem horizontalen Träger) zu verschieben, bis die Distanz beiderseits gleich erscheint (Tschermak)[2]). Für meine Augen sowie für andere Beobachter ergibt sich hierbei ein deutlicher Teilungfehler zu ungunsten der temporalen Netzhauthälfte, nämlich 30 mm gegen 31—33 mm auf etwa 15 cm Distanz. Derselbe scheint mir bei der Mehrzahl der Untersuchten nicht unerheblich

1) Volkmanns (140) Versuchsergebnis, dass solche Punkte in den beiden Netzhauthorizonten, welche objektiv gleich weit vom Fixationspunkt abliegen, Deckstellen sind, bezieht sich nur auf sehr geringe seitliche Abstände (z. B. 5,24 oder 5,21 mm gleichgesetzt 5,20 mm auf etwa 30 cm Distanz). Möglicherweise war auch die funktionelle Differenzierung seiner Netzhäute eine sehr gleichmässige, wie sich dies beispielsweise bei Feilchenfeld (36) ergeben hat, desgl. für Berthold und Dastich (s. unten) zu erschliessen ist.

2) Eine solche Vorrichtung, als Streckentäuschungsapparat bezeichnet, mit einer längs Gradteilung drehbaren Scheibe und mit feiner Wasserwageneinstellung, hat nach meiner Angabe Mechaniker P. Polikeit in Halle angefertigt.

grösser zu sein, als ihn Kundt an sich selbst gefunden. Nach diesem Verhalten scheinen bei der Mehrzahl der Menschen die an Distanzwert äquivalenten Netzhautelemente aussen und innen nicht symmetrisch zu liegen, sondern auf der nasalen Netzhauthälfte weiter vom Zentrum abzustehen wie auf der temporalen Hälfte desselben Auges.

Eine ganz analoge Schlussfolgerung ergibt sich nach E. Hering für die Lage der an Höhen- und Breitenwert äquivalenten oder korrespondierenden Elemente in beiden Augen. Schon W. Baum hatte den sogen. Vieth-Müllerschen Horopterkreis, welcher den geometrischen Ort der korrespondent abgebildeten Aussenpunkte darstellen sollte, als nicht genau zutreffend vermutet. Er und Meissner (82, speziell § 34, S. 61) betrachteten vielmehr eine frontale Ebene als den wirklichen Längshoropter, d. h. als den geometrischen Ort der auf korrespondenten Längsstreifen der Netzhaut, somit ohne Querdisparation abgebildeten Aussendinge. In solcher Allgemeinheit war diese Formulierung allerdings unzulässig. Die Tatsache, dass die im Vieth-Müllerschen Kreise angeordneten Lote oder Stäbe im allgemeinen nicht in einer Ebene erscheinen, ja bei stark seitlicher Lage sogar in deutlichen Doppelbildern erscheinen können, wurde erst von E. Hering in ihrer vollen Bedeutung erkannt, nämlich als ein Hinweis auf die inkongruente Lage der korrespondierenden Netzhautstellen [1]). E. Hering (54, Heft 5, § 118, 296—300) bewies zugleich, dass man Lote oder Stäbe, um sie in einer scheinbaren frontalen Ebene zu sehen, im allgemeinen in einer Kurve von schwächerer Krümmung als der Vieth-Müllersche Kreis anordnen muss: bis zu einem individuell verschiedenen Abstand ist jene Kurve nach dem Beobachter hin abnehmend konkav, jenseits dieser Distanz zunehmend konvex. Dieses Verhalten — weiterhin als Hering-Hillebrandsche Horopterabweichung bezeichnet — (Anordnung des Testobjektes in P, nicht in M; FP = Längshoropterkurve, FM = Vieth-Müllerscher Kreis in Fig. 1) beweist unstreitig, dass beispielsweise mit der Stelle a des linken Auges nicht die geometrisch kongruente Stelle a′ des rechten Auges korrespondiert, sondern die weiter nasal gelegene Stelle b′. —

[1]) Helmholtz meinte zuerst Nadeln, welche in einem Bogen von der Krümmung des Vieth-Müllerschen Kreises angeordnet waren, gerade d. h. in einer frontalen Ebene zu sehen. Es handelte sich jedoch um einen Irrtum, dadurch bedingt, dass den indirekt gesehenen Nadeln zu geringe Seitenabstände gegeben waren. Später fand auch Helmholtz den Bogen für sich beträchtlich flacher als jenen Kreis. Er erklärte jedoch diese Beobachtung als eine Täuschung infolge einer falschen Schätzung des Konvergenzgrades bezw. der Entfernung und infolge des Mangels sichtbarer vertikaler Distanzen; dadurch seien wir geneigt, einen gegen uns konkaven horizontalen Bogen für gerade zu halten (49, I, 655, 722; II, 801—802, 870—871). Gegenüber dieser Auffassung sei hier nur die sehr geringe individuelle Schwankungsbreite bei jener Einstellung betont (vergl. Tschermak [127], speziell S. 346). Hingegen hat Aubert (5, Phys. d. N. H. § 134, S. 308) aus dem Doppelterscheinen solcher Objekte, welche stark seitlich im Vieth-Müllerschen Kreis gelegen sind, sowie aus der Abweichung der Längsmittelschnitte vom Lote den Schluss gezogen: „Es ist notwendig geworden unter (sc. geometrisch) identischen Punkten etwas anderes zu verstehen als unter korrespondierenden Punkten.“

Herings Befund wurde von F. Hillebrand (59) an einem besonderen Spiegelhaploskop mit feinst verstellbaren Fäden messend bestätigt. Derselbe analysierte auch eingehend die Bedeutung dieses Verhaltens für die Lehre von der Stabilität der Raumwerte auf der Netzhaut. Für die Augen von Hillebrand ergab sich ferner eine deutliche Ungleichmässigkeit, indem die Diskrepanzen für die linken Netzhauthälften bezw. für das linke Auge etwa doppelt so gross waren, wie für die rechten bezw. für das rechte Auge. In der nachstehenden Tabelle (Tab. I) [1]) seien Hillebrands Zahlen (49, S. 60) wiedergegeben

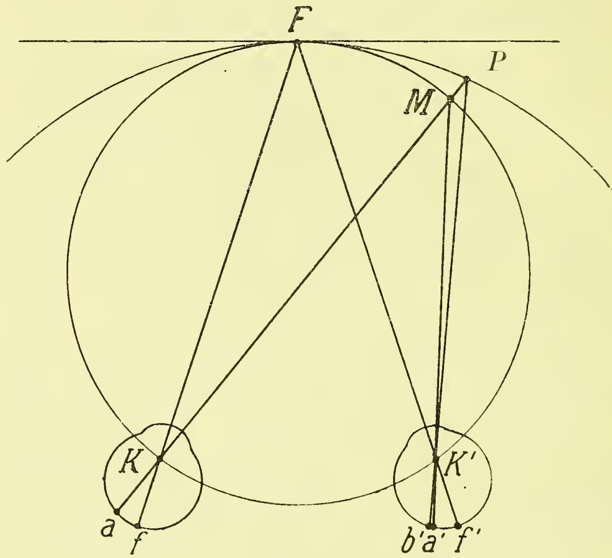


Fig. 1.

Schema des Längshoropters und des Vieth-Müllerschen Kreises.

und zum Vergleiche analoge Zahlen danebengesetzt, welche ich aus den Daten von Helmholtz (49, I. A. S. 655, II. A. S. 801), Kiribuchi (127) und M. Frank (42) berechnet habe. Es sei nicht versäumt, zu betonen, dass diese für das schematische Auge ausgeführten Berechnungen nur ein ungefähres Bild der tatsächlichen Verhältnisse geben können. Deutlich ersieht man jedoch aus den Zahlen, dass der Lageunterschied bezw. die Diskrepanz mit zunehmender Exzentrizität anfangs langsam, dann immer rascher wächst (man vergleiche speziell die nach den Helmholtzschen Zahlen entworfene Fig. 2). Je grösser bei einem Individuum die Diskrepanz oder Inkongruenz in der Lage der korrespondierenden Elemente ist, um so stärker weicht sein wirklicher

[1]) Zum Vergleiche der Diskrepanzwerte mit der Grösse der Netzhautelemente sei folgendes bemerkt. In der Fovea des schematischen Auges entspricht ein Zapfen (zu 0,003 mm Durchmesser gerechnet) etwa einem Winkel von 41″ — es kommen also 1,45 Zapfen auf 1′. Ausserhalb der Fovea sind die Masse beiläufig 1′8″ für einen Zapfen (zu 0,005 mm Durchmesser) bezw. 0,88 Zapfen auf 1′ — 20,4″ für ein Stäbchen (zu 0,0015 mm Durchmesser) bezw. 2,9 Stäbchen auf 1′.

Längshoropter vom Vieth-Müllerschen Kreise ab; bei um so geringerem Abstande geht die flache konkave Zylinderfläche in eine Ebene, weiterhin in eine konvexe Zylinderfläche über. Um so näher muss demnach bei einer fixen Einstellung der Lote, Stäbe oder Nadeln der betreffende Beobachter herangehen, um den subjektiven Eindruck von Anordnung in einer Ebene zu erhalten. Von den bisher untersuchten Personen zeigte J. Bernstein (allerdings ohne Zahlen mitgeteilt, bei Helmholtz [49], I. A. S. 655, II. A. S. 801) die grösste Diskrepanz, dann folgt Hillebrand, hierauf anscheinend M. Frank, Kiribuchi, Helmholtz. Bei zwei Beobachtern, Berthold und Dastich, fand Helmholtz (l. c.) hingegen ein Zutreffen des Vieth-Müllerschen Kreises, demnach überhaupt keine Diskrepanz [1]). Ob die Teilungsfehler von entgegengesetztem Sinne, wie sie Münsterberg (40) und H. Fischer (87) erhielten, auf eine individuelle Horopterform von stärkerer Krümmung als der Vieth-Müllersche Kreis hinweisen, muss dahingestellt bleiben.

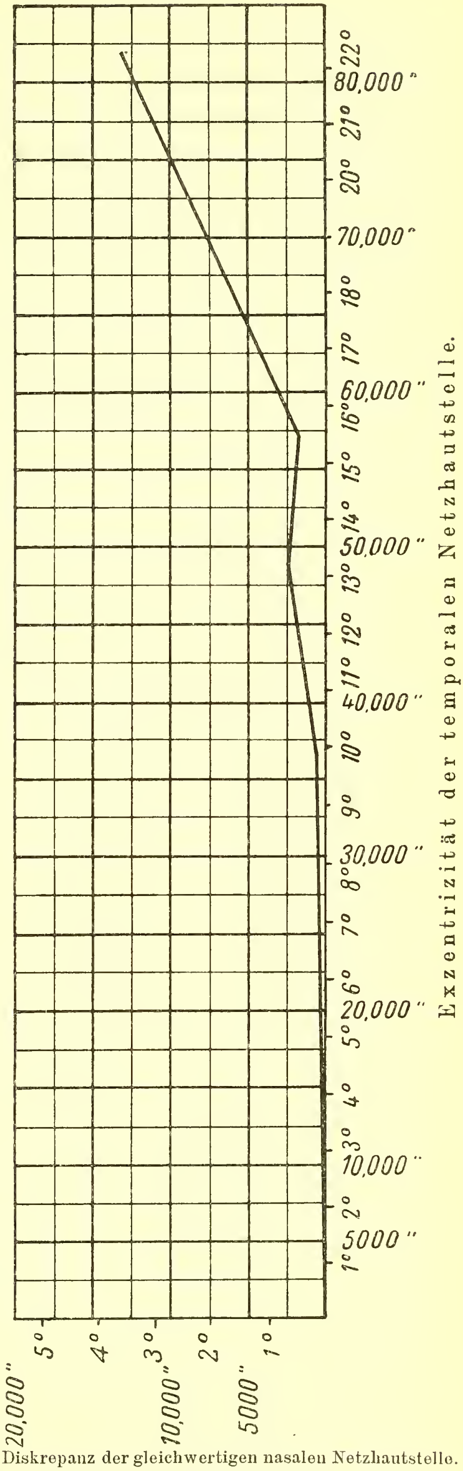


Fig. 2.

Kurve der Diskrepanz der gleichwertigen Netzhautstellen bei Helmholtz.

1) Nach dem bisher vorliegenden Material ist noch nicht zu entscheiden, ob die genannte individuelle Verschiedenheit eine kontinuierliche Variation oder, was mir wahrscheinlicher ist, eine diskontinuierliche oder Sprungvariation nach Typen (bei Fehlen oder Zurücktreten von Zwischenformen — Bateson) darstellt. Eine diskontinuierliche Variation oder Verschiedenheit im Sinne von Rassenmutation (de Vries) liegt allem Anscheine nach auf dem Gebiete des Farbensinnes vor in Form der Typen „Gelbsichtigkeit“ und „Blausichtigkeit“ und zwar sowohl unter den Farbentüchtigen wie unter den Rotgrünblinden (vgl. Tschermak, Ergebn. d. Phys. I, 2. S. 742–752). Die Vererbungsweise dieser wie jener Unterschiede verdiente ein besonderes Studium. Dies gilt auch für die Vererbungsweise der Farbenblindheit mit Rücksicht auf die von de Vries, Correns und E. Tschermak wiederentdeckte Mendelsche Lehre.

E. Herings (54) Voraussetzung, dass das Erscheinen in einer frontalen Ebene — bei Ausschluss aller empirischen Lokalisationsmotive — ein Kriterium sei für Anordnung der Prüfobjekte im Längshoropter, also für Abbildung auf korrespondenten Längsreihen von Netzhautelementen, wurde von A. Tschermak auf Grund von Beobachtungen Kiribuchis (127) erhärtet. Die Empfindlichkeit für Tiefenunterschiede relativ zu jener Anordnung, also für scheinbares Heraustreten aus der Frontalebene erwies sich nämlich als maximal; für alle anderen Anordnungsweisen war sie deutlich geringer.

Tabelle I.

Lage der gleichwertigen Netzhautstellen bei verschiedenen Beobachtern.

Helmholtz (von mir berechnet).

Temporal	Nasal	Differenz
6° 11′ 45,1″	6° 15′ 13,8″	3′ 28,7″
9° 56′ 45,9″	10° 4′ 51,5″	8′ 5,6″
13° 30′ 21,3″	14° 10′ 18,2″	39′ 56,9″
15° 54′ 48,1″	16° 23′ 36,3″	28′ 48,2″
22° 39′ 14″	26° 13′ 15,7″	3° 34′ 1,7″

Hillebrand.

Temporal		Nasal	Differenz	
R. A.	L. A.		R. A.	L. A.
1° 29′ 18″	1° 28′ 24″	1° 30′ 12″	54″	1′ 48″
3° 30′ 51″	3° 27′ 18″	3° 33′ 41″	2′ 50″	6′ 23′
3° 38′ 34″	3° 34′ 10″	3° 40′ 46″	2′ 12″	6′ 36″
3° 43′ 0″	3° 38′ 4″	3° 45′ 15″	2′ 15″	7′ 11″
3° 45′ 18″	3° 42′ 39″	3° 48′ 20″	3′ 2″	5′ 41″
3° 55′ 19″	3° 53′ 54″	3° 57′ 41″	2′ 22″	3′ 47″
6° 40′ 50″	6° 31′ 23″	6° 48′ 57″	8′ 7″	17′ 34″
7° 20′ 20″	7° 7′ 57″	7° 27′ 25″	7′ 5″	19′ 28″
8° 37′ 4″	8° 16′ 10″	8° 49′ 35″	12′ 31″	33′ 25″
10° 25′ 27″	10° 0′ 2″	10° 48′ 15″	22′ 48″	48′ 13″

Kiribuchi (von mir berechnet).

Temporal	Nasal	Differenz
6° 0′ 48,5″	6° 5′ 23″	4′ 34,5″
6° 53′ 4,7″	6° 58′ 9,9″	5′ 5,2″
8° 33′ 50,6″	8° 43′ 42,1″	9′ 51,5″
10° 17′ 17,2″	10° 30′ 22,8″	13′ 5,5″
11° 8′ 47,1″	11° 23′ 58,7″	15′ 11,7″
12° 5′ 5,6″	12° 19′ 39,2″	14′ 33,6″

M. Frank (von mir berechnet).

Temporal	Nasal	Differenz
5° 40′ 48″	5° 44′ 30″	3′ 42″
7° 4′ 43″	7° 11′ 7″	6′ 24″
7° 30′ 36″	7° 40′ 2″	9′ 26″
9° 20′ 42″	9° 36′ 11″	15′ 29″

Die beschriebene Hering-Hillebrandsche Horopterabweichung weist zwar bereits deutlich nach derselben Richtung wie der Kundtsche Teilungsversuch. Auch hatte bereits Hillebrand die Unterschiede in beiden Fällen von derselben Grössenanordnung gefunden. Doch erschien es nicht überflüssig, die Übereinstimmung der beiden Diskrepanzerscheinungen direkt an derselben Versuchsanordnung darzutun. M. Frank (42) hat auf meine Veranlassung hin solche Beobachtungen ausgeführt. Zunächst wurden drei Lote bei binokularer Fixation des mittleren objektiv symmetrisch und, wie sich zeigte, damit übereinstimmend subjektiv symmetrisch in eine scheinbare Ebene bezw. in den Längshoropter geordnet. Hierauf wurde eines der seitlichen Lote verstellt, dann das eine Auge geschlossen, und jenes Lot unter Fixation des mittleren wieder so eingestellt, dass es denselben Abstand zu haben schien, wie das unverrückte dritte Lot auf der anderen Seite. Diese einäugig getroffene Anordnung stimmte im Mittel durchaus überein mit der binokular vorgenommenen, obzwar sie für das Einzelauge objektiv unsymmetrisch ist: der Gesichtswinkel für das nasal abgebildete Lot ist grösser wie jener für das temporal abgebildete. Die unokulare Einstellung entspricht einer Teilung von 40,39 : 39,55 mm und 50,76 : 49,37 mm in 30 cm Abstand, von 40,22 : 39,79 mm und 50,43 : 49,67 mm in 40 cm Abstand. — Die Befunde von Kundt, E. Hering, Helmholtz sowie Bernstein, Hillebrand, Tschermak und Kiribuchi, Feilchenfeld, M. Frank (im Gegensatze zu Münsterberg und R. Fischer) lassen sich dahin zusammenfassen, dass — wenigstens in der Regel — die Elemente der äusseren Netzhauthälfte eine steilere Abstufung der Lokalzeichen aufweisen als die Elemente der inneren Hälfte: ein und derselbe funktionelle Unterschied ist temporal bereits nach einer geringeren Anzahl von Elementen, in einer geringeren Exzentrizität erreicht als nasal.

Eine solche Diskrepanz zwischen der subjektiv-räumlichen Differenzierung und der objektiv-geometrischen Anordnung der Netzhautelemente ergibt sich aber nicht bloss für den horizontalen Meridian. Ganz analoges gilt für den vertikalen Meridian, für die Gegenüberstellung von oberer und unterer Netzhauthälfte. Bereits Delboeuf (28), ebenso später Mellinghoff (bei Wundt [145], II., S. 139), Feilchenfeld (36), auch Crzellitzer (sub 36) fanden bei Halbierung vertikaler Strecken unter Fixation der teilenden Spitze einen deutlichen Unterschied, indem der obere, unten abgebildete Abschnitt regelmässig kleiner ausfiel als der untere — nach Delboeuf etwa um $^{1}/_{16}$; für Feilchenfeld ergab sich jener konstante Fehler allerdings erst bei Anwendung grösserer Strecken. Hingegen fand R. Fischer (40, 41) für seine Augen das Umgekehrte, nämlich Überschätzung bezw. Kleinereinstellen der unteren, oben abgebildeten Strecke (100 : 103,22). Ich selbst finde für meine Augen den Unterschied zu ungunsten der unteren Netzhauthälfte (gleich Delboeuf) von derselben Grössenordnung wie jenen zu ungunsten der temporalen Netzhauthälfte.

Sucht man endlich Gleichungen herzustellen zwischen horizontalen und vertikalen Strecken, so ergibt sich für die meisten Beobachter eine Überschätzung, also Kleinereinstellung der vertikalen Distanzen (Oppel [93], Wundt [144; 145, II, S. 137—139], Chodin (Arch. f. Ophth. 23 [1], 1877), Helmholtz [49], R. Fischer [40, 41], Guillery [47], Seashore und Williams [113], Holtz [63]). Oppel fand ein Minus der vertikalen Strecke von etwa $^1/_{18}$ bis $^1/_{12}$ der horizontalen, Wundt ein solches bis zu $^1/_5$, Chodin ein Minus von $^1/_{9,5}$ bis $^1/_6$, Helmholtz ein solches von $^1/_{30}$ bis $^1/_6$, R. Fischer von $^3/_{53}$ bis $^1/_7$. Im gleichen Sinne hat sich Guillery ausgesprochen[1]). Nur Delboeuf (28) fand für seine Augen das umgekehrte Verhalten — ein Zugrosseinstellen der vertikalen Strecke. Für Münsterberg (87) tritt eine Überschätzung des vertikalen Abstandes nur ein bei Verwendung von Punkten (nach Wundt [145, II, S. 137], hierbei nur Maximum der Differenz) und bei bewegtem Blick. Von A. F. Buck (14) endlich stammt die Angabe, dass die Überschätzung vertikaler Distanzen bei liegender Körperhaltung etwas grösser sei als beim Stehen.

Selbstverständlich ergeben sich auch für die schrägen Meridiane Diskrepanzen der geschilderten Art. Ein übersichtliches Bild dieser Verhältnisse ist zu gewinnen, wenn man sich die Aufgabe stellt, eine Anzahl von Punkten in einen scheinbaren Kreis zu ordnen, natürlich bei einäugiger Fixation des Zentrums. Man kann sich dazu einer schwarzen Scheibe bedienen, auf welcher eine wagrechte Nadel den Blick fesselt und 8 oder 16 weisse auswechselbare Scheibchen in radiären Schlitzen oder an schwarzen, radiären Trägern fein abgestuft, messend verschoben werden können (Apparat von Tschermak). Solche Beobachtungen führen überzeugend zu dem Schlusse, dass die funktionell gleichwertigen Netzhautelemente, welche also die Empfindung gleichen Abstandes vermitteln, nicht wirklich in gleichem Abstande von der Netzhautmitte gelegen sind. Ein geometrischer Kreis trifft demnach nicht gleichwertige Mosaikglieder — die Äquivalenzlinien auf der Netzhaut laufen nicht genau zirkulär. Vielmehr ist der Radius einer solchen Kurve in der Regel auf der nasalen Hälfte des Horizontalmeridians am grössten, etwas kleiner auf der oberen Hälfte des Vertikalmeridians, noch kleiner auf der temporalen Hälfte, wohl am kleinsten auf der unteren Hälfte. Ein wirklicher Kreis — besser eine wirklich zirkuläre Anordnung einzelner Punkte — muss demnach nach unten, noch mehr nasenwärts, am meisten aber nach oben ausgebuchtet erscheinen[2]). Die nachstehende Figur (Fig. 3) gibt ein Schema der Streckendiskrepanzen im rechten Auge, die Netzhaut als Ebene von hinten gesehen.

---

[1]) Beim Zeichnen eines Quadrates nach dem Augenmass wird die Höhe von Helmholtz um etwa $^1/_{40}$, von Wundt (Vorlesungen über Menschen- und Tierseele. Leipzig 1863, S. 255) um $^1/_5$ zu niedrig genommen.

[2]) Dieses Verhalten dürfte bereits der Angabe Recklinghausens (99, S. 134) zugrunde liegen, dass ihm ein wirklicher Kreis bei einäugiger Fixation des Mittelpunktes in dem Durchmesser von aussen oben nach innen unten abgeplattet erscheine. Recklinghausen deutete diese Erscheinung allerdings als dioptrischen Verzerrungseffekt (vgl. unten).

Es sei gestattet, jenes Verhalten und damit das Prinzip einer radiär fortschreitenden funktionellen Differenzierung noch durch eine Parallele aus der Morphologie zu veranschaulichen. An den Blütenkörbchen der Kompositen zeigen die Einzelblüten eine abgestufte Differenzierung, welche man

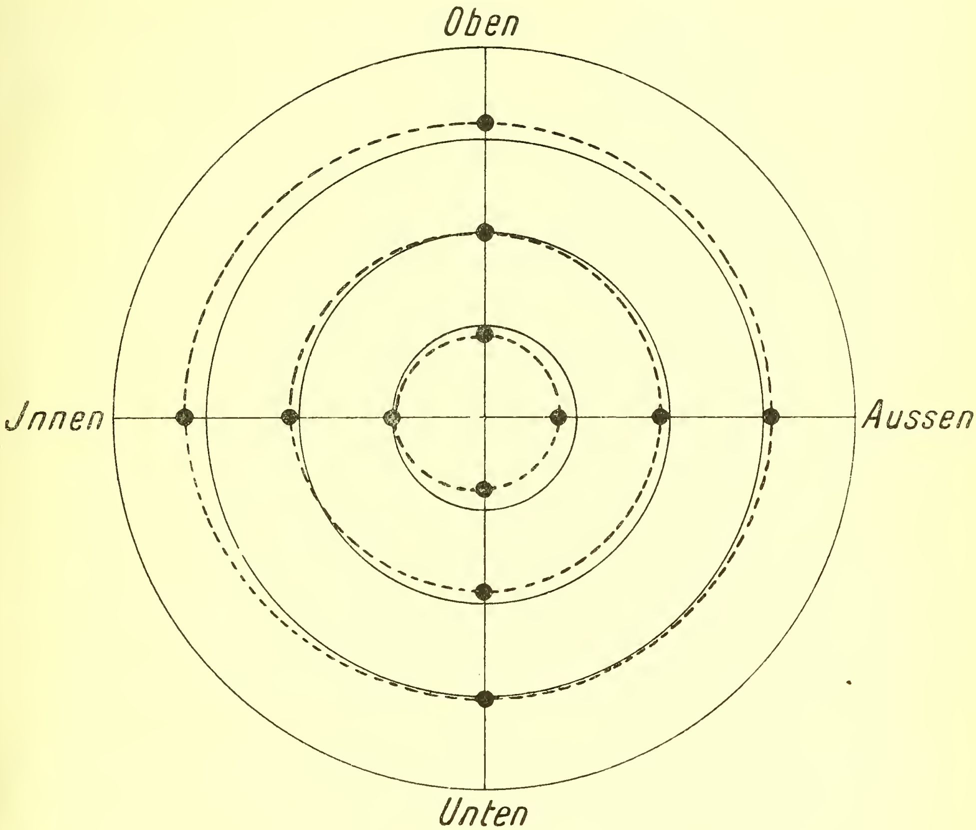


Fig. 3.

Schema der Streckendiskrepanzen im rechten Auge (die Netzhaut als Ebene von hinten gesehen).

Die ausgezogenen Linien stellen geometrische, konzentrische und äquidistante Kreise dar. Die gestrichelten Linien verbinden jene Netzhautelemente, welche den subjektiven Eindruck konzentrischer und äquidistanter Kreise vermitteln.

schematisch als vom Zentrum aus radiär nach der Peripherie hin fortschreitend betrachten kann. Doch ist, zumal in gewissen Fällen, das Gefälle dieser Abstufung in den einzelnen Radien ungleichmässig, so dass die Verbindungslinien gleichgestalteter Einzelblüten oft nicht unerheblich von Kreisen abweichen. Man vergleiche die nachstehende Figur (Fig. 4)[1]).

---

[1]) Die Herstellung des Photogramms verdanke ich meinem Freunde Professor Dr. G. Sobernheim-Halle.

Aber nicht bloss beim Vergleich der einzelnen Netzhautmeridiane untereinander, auch schon innerhalb eines und desselben Meridians ergeben sich deutliche Streckendiskrepanzen. Einem und demselben Gesichtswinkel bezw. Bildwinkel entspricht auch hier nicht ein konstanter funktioneller Unterschied der Netzhautelemente; objektiv gleiche Strecken im Netzhautbilde bedingen nicht Grössengleichheit der subjektiven Eindrücke. Dieser Schluss ergibt sich aus der bekannten Erfahrung, dass ein Scheibchen oder eine Strecke auf gleichmässigem Grunde bei abgewandtem Blick



Fig. 4.

Blütenkörbchen einer Komposite als Beispiel einer ungleichmässig radiär fortschreitenden Differenzierung.

kleiner erscheint als bei direkter Betrachtung (Fechner 1866 contra Panum [94, 95], ebenso Wittich [142], Aubert [Phys. d. N. H. S. 252]). Von diesem Verhalten kann man sich unter anderem leicht überzeugen, wenn man einen abstechenden Eindruck z. B. den des Mondes durch willkürliches Schielen in ein direkt gesehenes und ein indirekt gesehenes Halbbild zerfällt; das letztere erscheint deutlich kleiner. Dieser Unterschied nimmt im indirekten Sehen mehr und mehr zu. Allerdings kommt solchen Beobachtungen nur dann Beweiskraft zu, wenn ein wirkliches Kleinerwerden der Fläche oder des Winkels des Netzhautbildes — der Tangentenfehler (Kundt, Hering, Helmholtz)[1]) —

[1]) Die Grösse des Tangentenfehlers wird beispielsweise illustriert durch das Schachbrettmuster von Helmholtz, welches die Projektion der Richtkreise des Blickfeldes auf eine Ebene darstellt (49, I. S. 553, II. S. 695). Die oben erwähnte Diskrepanz im indirekten Sehen gibt sich auch an diesem Muster dadurch kund, dass „die weit nach oben und unten gelegenen Quadrate zu niedrig gegen ihre Breiten, die weit nach rechts und links gelegenen

Donders Arch. f. Ophth. 1877. Bd. 23. II. S. 255.

Groenouw, Arch. f. Ophth. 1889. Bd. 35. III. S. 29.

A. Druault, Arch. d'ophth. vol. 18. 1898. p. 685.
Note sur la situation
des images rétiniennes
formées par les rayons très obliques
sur l'axe optique.

Correctur gegeben
zu P. Hoefer, Beitrag zur Lehre vom
Augenmaass bei binocularem
und bei monocularem Sehen.
Pflügers Arch. 1906.

vermieden wird. Zu diesem Behufe bringt man das Objekt entweder dem Auge gerade gegenüber und lässt bloss den Blick wandern, oder man verschiebt das Objekt auf dem Kreisbogen eines Perimeters. Dabei wird der Bildwinkel mit wachsender Exzentrizität sogar etwas grösser, da der Konstruktionsmittelpunkt bezw. der mittlere Knotenpunkt mehr und mehr nach vorne gegen den Hornhautscheitel rückt (vergl. Landolt und Nuel[1]). Trotzdem besteht die oben geschilderte Streckentäuschung.

Bei einer messenden Untersuchung dieses Diskrepanzfalles ist bereits R. Fischer (41), ebenso später Feilchenfeld (36) (desgleichen Crzellitzer [sub 36]) zu dem Resultate gelangt, dass der Versuch eine Strecke unter Fixation des einen Endes zu teilen stets zu einer sog. Unterschätzung, einem Zugrosseinstellen des peripheren Teiles führt; und zwar ist diese Abweichung immer noch grösser, als nach dem Tangentenfehler zu erwarten. Dasselbe gilt von der Abweichung beim Versuche, drei indirekt gesehene Scheibchen in eine scheinbare Vertikale oder Horizontale einzustellen (R. Fischer [41], Bourdon [12], p. 103). Die Grösse dieser Diskrepanz ist übrigens in den einzelnen Halbmeridianen von R. Fischers Augen verschieden und zwar am kleinsten für den temporalen, etwas grösser für den oberen, weit stärker für den nasalen, am bedeutendsten für den unteren Halbmeridian. Analoges fand Guillery (47), als er auf dem Perimeter eine indirekt gesehene, tangential gestellte Strecke einer gegebenen, direkt betrachteten gleich zu machen suchte. Die indirekt gesehene Strecke wurde im Mittel zu gross eingestellt und zwar umsomehr, je exzentrischer sie lag. Die Abweichung ist für Guillery am kleinsten im nasalen, grösser im temporalen (also umgekehrt wie bei R. Fischer!), am grössten im unteren Halbmeridian.

Zusammenfassend kann man sagen, was speziell R. Fischer (40, 41) betont hat, dass beim Vergleich des objektiven Gesichtsfeldes und des subjektiven Sehfeldes das letztere, auch bei Konstanthalten des Gesichtswinkels der Objekte, gewissermassen eine zentrische Schrumpfung zeigt, welche nach dem Rande hin immer mehr zunimmt. Ausmass und Abstufung derselben nach den einzelnen Halbmeridianen scheinen individuell zu variieren[2]). — Das Verhalten in der Umgebung des blinden Fleckes sei unter den Richtungstäuschungen im nächsten Abschnitt behandelt.

---

vielleicht etwas zu schmal in ihrer Breite erscheinen" (Helmholtz [49], I. S. 555, II. S. 697). Auch die von Helmholtz (49, S. 556 bezw. 698) hervorgehobene Erscheinung sei hier angeführt, dass das Gesamtgesichtsfeld beider Augen viel enger zu sein scheint, als es seiner objektiven Ausdehnung — etwa 180° in der Quere — entspricht.

1) Versuch einer Bestimmung des Knotenpunktes für exzentrisch in das Auge fallende Lichtstrahlen. Arch. f. Ophthalm. **19** (3). 391. 1873.

2) „Alle indirekt gesehenen Punkte verlegen wir in falsche Richtungen, indem wir den Winkel zwischen ihrer Richtungslinie und der Blicklinie zu klein nehmen" (Helmholtz [49], I. S. 620, II. S. 765). Ebenso findet Chas. B. Morrey auf Grund des Tastversuchs nach momentanem Sichtbarmachen eines exzentrischen Objektes, dass wir geneigt sind, dasselbe so zu lokalisieren, als wäre es dem Fixationspunkte genähert.

B. Richtungstäuschungen.

Analoges wie die Streckentäuschungen lehren uns jene Erscheinungen, welche man als elementare Richtungstäuschungen des Auges zu bezeichnen pflegt. Auch in diesen sind m. E. Beweismomente gegeben für eine physiologische Begründung der Lokalzeichen oder Raumwerte, d. h. zunächst Gründe gegen eine Identität oder völlige Übereinstimmung von funktioneller Differenzierung und geometrischer Anordnung der Netzhautelemente.

Die grundlegende Beobachtung auf diesem Gebiete bildet die Entdeckung, dass bei Ausschluss aller empirischen Anhaltspunkte die scheinbare Vertikale des einzelnen Auges eine Abweichung vom Lote zeigt[1]). Die vertikalempfindende Elementenreihe, der Längsmittelschnitt nach Hering (oder die „vertikale Trennungslinie" nach Meissner [82]), und der Lotmeridian stimmen nicht überein. Diese sog. Inkongruenz der Netzhäute wurde fast gleichzeitig von Hering (54 III. S. 175, 55), Helmholtz (50, 51, 52) und Volkmann (139, 140) gefunden[2]), seither von zahlreichen Beobachtern bestätigt [Berthold (9 und sub 49), Dastich (sub 49), Dobrowolsky (29), van Moll (84, 85), Donders mittelst des sog. Isoskops (32), Knapp (sub 49), Landolt (71), G. T. Stevens (117, 118), Tschermak (125), M. Sachs und Meller (107)]. Jene Abweichung, von Donders Winkel V genannt, besteht bei der ganz überwiegenden Mehrzahl der Beobachter in einer geringgradigen Divergenz der Längsmittelschnitte nach oben — angenäherte Primärstellung bezw. Geradeausrichten des Blickes ohne Akkommodation vorausgesetzt. Nur Stevens (117, 118) fand unter diesen Verhältnissen bei einzelnen Individuen schwache Konvergenz der Längsmittelschnitte nach oben und zwar in solchen Fällen, in welchen die Augen beim ziellosen Blick in die Ferne nach oben abweichen (Anaphorie im Gegensatze zur Kataphorie mit Divergenz der Längsmittelschnitte nach oben). Bei manchen Individuen ist die Abweichung allerdings sehr gering, ja sie kann fehlen (Landolt [71], Stevens [117, 118]). Übrigens variiert der Abweichungsgrad bezw. die Orientierung des Auges um die Gesichtslinie bei einem und demselben Beobachter im Verlaufe längerer Versuchsdauer, im Verlaufe des Tages oder gar längerer Zeit. Donders (32), welcher den Einfluss einer ganzen Reihe von Faktoren messend untersuchte, fand für sich ein Minimum von 2,6°, ein Maximum von 4,85°, im Mittel 3,304°. Die künstliche Veränderlichkeit des Winkels V durch den Fusionszwang — beispiels-

---

1) Ausser Betracht bleibt hier die Abweichung der scheinbaren Vertikalen vom Lote bei binokularem Sehen. Man vergleiche diesbezüglich: Jastrow (zit. unten), Bourdon (12, p. 162).

2) Das Schieferscheinen eines Lotes oder eines rechtwinkeligen Kreuzes bei einäugiger Fixation hatte bereits Recklinghausen beobachtet, ebenso die Zunahme dieser „Täuschung" bei stärkerem Nahesehen (bei 250 mm Distanz fehlend, bei 80 mm 3° 16′ für R. A., 3° 59′ für L. A.). Er deutete jedoch seine Beobachtungen als rein dioptrisch, durch Schiefstand der Hornhaut bedingt (99, S. 129—134)

weise bei Benützung drehbarer Haploskopscheiben — sei hier nur nebenbei erwähnt (Donders, Helmholtz, A. Nagel, E. Hering, F. B. Hofmann und A. Bielschowsky [62]). Die Meinung, dass die Abweichung bei Myopen durchwegs geringer sei als bei Emmetropen, erscheint mir nicht hinlänglich gestützt (vergl. die bezüglichen Angaben in der nachstehenden Tabelle).

Die Einstellung des Durchmessers je einer beweglichen Scheibe bei einäugiger Betrachtung und die Einstellung zweier solcher bei binokularer Verschmelzung oder binokularer Ergänzung zweier Radien zu einer Vertikalen liefert ein wesentlich gleiches Resultat, so fand Volkmann (140) einäugig 0,82° (R. A.) + 1,307° (L. A.) = 2,127°, zweiäugig 2,25°, Schweigger-Seidel (sub 140) 0,657° (R. A.) + 0,663 (L. A.) = 1,32°. Die Richtungsdiskrepanzen, ebenso die Streckendiskrepanzen verhalten sich übrigens in den beiden Augen meist angenähert symmetrisch (eine relativ starke Abweichung bezüglich der Lage der breiten-äquivalenten Netzhautstellen beiderseits siehe bei Hillebrand [59]). So ergab sich bei Tschermak (125) für das linke Auge mit 1,75 D Myopie der Winkel $\frac{V}{2}$ zu 0,7°, für das rechte Auge mit 5,25 D Myopie zu 0,8°.

Tabelle II.

Beobachter:	Divergenzgrad beider Längsmittelschnitte:
Helmholtz (49, I. A. S. 715, II. A. S. 863)	2° 22′
Volkmann (140, S. 203, 206) . . .	2° 15′ bis 2° 30′ (0,82° R. A., 1,307° L. A.; schwach myopisch)
Schweigger-Seidel (bei Volkmann 140, S. 218)	1,32° bis 1,44° (0,657° R. A., 0,663° L. A.)
Welcker (ebenda S. 217)	1,99°
Käherl (ebenda S. 218)	1,2°
Dastich (bei Helmholtz 49, I. A. 704, II. A. 851, 863)	2° 33′ bis 2° 40′ (1° 12′ R. A. myopisch; 1° 21′ L. A. emmetropisch)
Berthold (ebenda und 9)	1° 52′ 17″ bis 2° 1′ 51″ (myopisch)
Knapp (bei Helmholtz 49, I. A. S. 715, II. A. S. 863)	2° 8′ (emmetropisch)
Donders (23)	3,304°
van Moll (84, 85)	0,9°
26 Personen (bei van Moll, 84, 85) .	0,093° bis 2,6°
Landolt (71)	30′
Dobrowolsky (29, S. 55)	3° 5′ (ganz geringgradig hypermetropisch)
Becker (ebenda, S. 60)	1° 33′ 17″ (emmetropisch)
J. Bernstein (ebenda S. 60) . . .	1° 13′ 39″ (schwach myopisch)
Tschermak (125)	1,5° (0,8° R. A., 5,25 D myopisch; 0,7° L. A. 1,75 D myopisch)
Bourdon (12, p. 162, mit entlang wanderndem Blick bestimmt!)	2,06° (0,8° R. A., 1,26° L. A.)
Stevens (117, 118) an sich	0°
Bei anderen (Kataphoriefällen) . . .	1° bis 3°
Meller (107)	14°.

Die reguläre Divergenz der Längsmittelschnitte nimmt wohl bei der Mehrzahl der Menschen beim Nahesehen zu, also mit der Innervation von Konvergenz und Akkommodation und zwar gleichmässig für beide Augen (Volkmann, Hering, Helmholtz — Abnahme der Divergenz hingegen zeigten nach Dobrowolsky (29) 14 Personen unter 20 Untersuchten). Derselbe Effekt tritt ein bei Hebung des Blickes, während Senkung eine Abnahme der Divergenz, ja schliesslich einen Umschlag in Konvergenz bewirkt (Hering, Helmholtz, Landolt, Donders, — desgleichen bei Dobrowolsky trotz des gegenteiligen Einflusses von Akkommodation und Konvergenz). Eine Tabelle, welche den Einfluss der Blicklage auf die Orientierung der Netzhäute zahlenmässig illustriert, hat Landolt (71) gegeben (abgedruckt von Zoth in Nagels Handbuch der Physiologie 3, 316). Er fand an sich selbst Wachstum von $+ 30'$ bei 0^0 Konvergenz bis $+ 6^0 50'$ bei 30^0 Konvergenz, bis $+ 16^0 30'$ bei 30^0 Konvergenz und 25^0 Hebung, Abnahme bis $- 1^0 5'$ bei 0^0 Konvergenz und 40^0 Senkung.

Einen Fall von ausnehmend hochgradiger Diskrepanz zwischen Längsmittelschnitt und Lotmeridian repräsentiert J. Meller (107), (ca. 14^0, am Volkmannschen Haploskop gemessen). Der Fall ist dadurch besonders interessant, dass unter den gewöhnlichen Bedingungen des Sehens die beiden Lotmeridiane durch Anpassung die Empfindung „rein vertikal“ (ohne stereoskopischen Effekt d. h. ohne scheinbares Vor- oder Zurücktreten des oberen oder unteren Endes) für ein wirklich lotrechtes Objekt vermitteln. Dieser Eindruck gilt sogar auch bei unbehindertem Binokularsehen für ein einzelnes leuchtendes Lot im Dunkeln. Einäugig betrachtet erscheint jedoch eine lotrechte Linie nur dann vertikal, wenn noch andere umgebende Objekte von bekannter Orientierung sichtbar sind. Ebenso erscheint ein an jener Lichtlinie gewonnenes Nachbild des einen Auges schief, sobald dieses Auge geschlossen und nun mit dem anderen Auge fixiert wird (M. Sachs und J. Meller [107]). Das anpassungsweise Vertikalerscheinen oder „Richtigsehen“ wirklich lotrechter Objekte trotz der Abweichung der Längsmittelschnitte besitzt zweifellos eine hohe Bedeutung für die optische Orientierung im praktischen Leben (vergl. Tschermak [130], S. 10—11).

Die im Vorstehenden geschilderte Inkongruenz der Netzhäute ist nicht etwa einfach die Folge davon, dass die Netzhaut fehlerhaft zur Gesichtslinie orientiert wäre, also die Bulbi im Sinne von gegensinniger Raddrehung oder Rollung aus der richtigen Stellung abwichen. Die Zunahme der Diskrepanz beim Nahesehen ist allerdings ausschliesslich durch diesen Umstand bedingt, ebenso die zeitlichen Schwankungen der Diskrepanz bei einem und demselben Beobachter. Beim Fernsehen aber zeigt sich, dass der funktionellen Quadrantenteilung der Netzhaut selbst sozusagen ein Fehler anhaftet. Im Gegensatze zur Abweichung von Vertikal und Lotrecht erweist sich nämlich die subjektive Horizontale bei Primärstellung als mit der objektiven Wag-

rechten fast oder ganz übereinstimmend (Helmholtz [50], Volkmann [139], Hering [54], S. 175, 263, 347). Nach Volkmanns Befund weicht bei seinen Beobachtern die äussere Hälfte der scheinbaren Horizontalen für das einzelne Auge etwas nach unten, die innere etwas nach oben von der Wagrechten ab. Über das Ausmass der eventuellen Diskrepanz zwischen der horizontal empfindenden Elementenreihe, dem Quermittelschnitt nach Hering (oder der „horizontalen Trennungslinie“ nach Meissner [82]), und dem wagrechten Meridian unterrichtet die nachstehende Tabelle. — Beim Nahesehen, ebenso bei Hebung des Blickes nimmt das Abfallen der Quermittelschnitte nach der Wangenseite in demselben Masse zu, wie die Divergenz der Längsmittelschnitte: sie bewahren dabei ihre funktionelle Eigentümlichkeit, die Vermittelung der Horizontal- und der Vertikalempfindung, das System erfährt bloss eine Rollung um die Gesichtslinie. Auch kann man diese Änderung der Orientierung künstlich durch den Fusionsreflex verhindern, wenn man jedem Auge eine Anzahl wagrechter Linien darbietet: dieselben bleiben horizontal, einander deckend bezw. parallel (Donders [32], Hering [54], S. 359).

Tabelle III.

Beobachter:	Winkel der beiden Quermittelschnitte:
Volkmann (140, S. 207, 224)	0,431° bis 0,5° (0,233° R. A., 0,203° L. A.)
Welcker (ebenda S. 217)	0,72°
Käherl (ebenda S. 218)	0,26°
Schweigger-Seidel (ebenda S. 218) . .	0,43°
Dastich (bei Helmholtz [49], I. S. 702, II. S. 849)	0,62°
Berthold (ebenda und 9)	1° 17′ 26″.

Die Diskrepanzen für die Vertikale und die Horizontale zeigen sich vereint bei dem Versuche, einäugig fixierend nach dem blossen Augenmasse ein aufrechtes rechtwinkeliges Kreuz herzustellen. Helmholtz (49, I. A. 546, 704, II. A. 585, 851) fand dabei als Abweichung zugunsten des inneren oberen Winkels im Mittel 1,2°, Dastich 1° 12′ (R. A.), bezw. 1° 21′ (L. A.), Berthold nur 0° 34′ 51″ bis 0° 44′ 25″. In einem objektiv rechtwinkeligen Kreuz erscheint dementsprechend den meisten Personen der äussere obere Winkel stumpf, der innere obere spitz; die unteren Winkel verhalten sich umgekehrt. — Die korrespondenten Zwischenmeridiane beiderseits zwischen Längsmittelschnitt und Quermittelschnitt zeigen eine allmähliche Abnahme der Inkongruenz. So entsprach in Volkmanns Augen (139, 140) dem Meridian von 30° auf der einen Seite ein um 1,74° davon abweichender im anderen Auge, dem Meridian von 60° ein um 1,2° davon abweichender.

Analoge elementare Richtungstäuschungen, wie sie oben für das direkte Sehen bezw. für die Netzhautmeridiane geschildert wurden, bestehen zweifellos auch für das indirekte Sehen. So lassen die dem Längsmittelschnitte

benachbarten Längsnebenschnitte deutlich eine Diskrepanz gegenüber dem Lote erkennen und zwar im gleichen Sinne wie der Längsmittelschnitt. Auch parazentral werden nämlich Linien, um vertikal zu erscheinen, mit dem oberen Ende nach aussen abweichend eingestellt. Allerdings müsste bei bezüglichen messenden Untersuchungen[1]) die Abbildungsweise der dargebotenen Objekte genau berechnet werden. Haploskopische Beobachtungen dieser Art sind dadurch sehr erschwert, dass die Sicherheit in der Bestimmung der korrespondierenden Netzhautstellen im indirekten Sehen rasch abnimmt (Mandelstamm [79], Schoeler [112]).

Auch die bei den bisherigen Erörterungen stillschweigend gemachte Voraussetzung, dass die Netzhautelemente, welche die Empfindung einer Geraden vermitteln, in einem Meridian oder grössten Kreis der Netzhaut gelegen seien, scheint, wenigstens bei gewissen Personen, nicht genau zuzutreffen. So beobachteten Recklinghausen (99, S. 134) und Berthold (9, S. 138) Scheinkrümmungen an objektiv geraden Linien. Der erstere sah an einem aufrecht stehenden rechtwinkeligen Kreuze — bei einäugiger Fixation des Mittelpunktes aus geringerer Distanz wie 25 cm — den Längsbalken nach aussen, den Querbalken nach oben schwach konkav gekrümmt. Berthold fand in analoger Weise ein Lot scheinbar nach aussen konkav, ein Mitbeobachter (stud. Engelmann) sah dasselbe im Fixationspunkte scheinbar nach aussen geknickt[2]). Bourdon (S. 98) hingegen fand beim Versuche, drei Lichtpunkte in eine vertikale oder horizontale Gerade einzustellen, für sein Auge keine deutliche Diskrepanz.

Diskrepanzerscheinungen, bezw. Strecken- und Richtungstäuschungen wurden endlich auch in der Umgebung des blinden Flecks beobachtet. Die Mehrzahl der Untersucher (E. H. Weber [141], A. Fick und P. du Bois-Reymond [39], Volkmann [138], Aubert [3, 4], Helmholtz [49, I. A. S. 579, II. A. S. 722—723], Hering [54, S. 22], Woinow [143]) fand allerdings, dass für ihre Augen Strecken, in deren Mitte der blinde Fleck fällt, keine Änderung ihrer scheinbaren Länge erfahren. Bei den Genannten erscheint demnach die Papilla nervi optici sozusagen bei der Verteilung der Lokalzeichen oder Raumwerte voll eingerechnet. Dass übrigens dieser Partie im optischen Zentrum überhaupt Elemente von bezüglichem Lokalzeichen entsprechen, beweist die bekannte Tatsache der entoptischen Sichtbarkeit des

---

1) Bourdons (12, p. 103) Versuche, drei indirekt gesehene Lichtpunkte auf einer frontalen Ebene in eine scheinbare Gerade einzustellen, ergaben Anordnung in einer gegen den fixierten Punkt konvexen Kurve, ähnlich wie im Schachbrettmuster nach Helmholtz. — Die Beobachtungen von Helmholtz (49, S. 547, II. S. 688 ff.) über den Vergleich von Winkeln nach dem Augenmasse sind mit wanderndem Blick angestellt, betreffen also im wesentlichen Sukzessivvergleiche mit einer und derselben Netzhautpartie.

2) Allerdings ist die Möglichkeit, dass diese Verzerrungen im dioptrischen Apparate, nicht im nervösen begründet seien (Recklinghausens Erklärung [99, 100]), nicht sicher auszuschliessen.

blinden Flecks. An dieser Stelle kann ja in Form einer Scheibe Kontrastschwarz (Schwärzung des Eigengrau — besonders bei plötzlicher diffuser Belichtung des Auges nach längerem Lichtabschlusse zu beobachten), aber auch farblose Helligkeit auf verdunkeltem Grunde, sogar Kontrastfarbe bei Färbung des übrigen Sehfeldes empfunden werden[1]). Man vergleiche damit die von mir festgestellte Tatsache, dass auch innerhalb pathologischer Farbenkotome simultaner Farbenkontrast vorkommt, dass somit auch Sehorganelemente, welche auf direktem Wege (durch Licht) nicht farbig erregt werden können, dies jedoch auf indirektem Wege vermögen, nämlich durch die gegensinnige Seitenwirkung der direkt erregten Nachbarelemente (Tschermak, Ergebn. d. Physiol. 2, 2).

Hingegen erschienen anderen Beobachtern (Wittich [142], Funke [45]) die Eindrücke in der Umgebung des blinden Flecks nach diesem hingezogen[2]): objektiv gerade Linien oder Buchstabenreihen konvex nach diesem hin, davon objektiv unterbrochene Strecken verkürzt. Allerdings wird keine Unterbrechung empfunden, der blinde Fleck ist unter gewöhnlichen Umständen unsichtbar — eine Erscheinung, welche aber hier nicht näher erörtert werden soll (man vergl. die bisherigen Erklärungsversuche bei Helmholtz [49], I. A. S. 574–583, II. A. S. 717—726; Aubert, Phys. d. N. H., S. 257; Hering [58], S. 374—375).

Bei Schielenden mit anomaler Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute (Tschermak [125]) äussert sich, wie ich auf Grund von Selbstbeobachtung angeben kann, die relative Verschiebung der Sehfelder beider Augen — und zwar bei Fixation mit dem rechten Auge die Verschiebung des Sehfeldes des linken Auges nach rechts und oben unter gleichzeitiger Drehung im Sinne des Uhrzeigers — auch an der entoptischen Wahrnehmung der beiden blinden Flecke. Der blinde Fleck des schielenden Auges erscheint gegen den anderen bezw. gegen den Fixationspunkt verlagert. Während mir bei raschem Wechsel von Rechtsfixation und Linksfixation — unter jeweiligem Abschluss des anderen Auges — die beiden blinden Flecke sukzessiv symmetrisch, nämlich seitlich und etwas nach unten vom Fixationspunkte erscheinen, sehe ich bei gleichzeitigem Öffnen beider Augen (vor einem gleichmässigen Grund, z. B. dem durch Wasserversprühung künstlich erzeugten Nebel in einem weissgestrichenen Inhalationsraume) und bei Rechtsfixation den linken blinden Fleck

[1]) Die ersten bezüglichen Beobachtungen stammen wohl von Purkinje (Beobachtungen und Versuche zur Physiologie der Sinne, I. Bd., 2. A., Prag 1823, S. 78). Man vergl. ferner die Angaben bei Joh. Müller (86, S. 61, 62, 74), Joh. Czermak (24, speziell S. 361—364), Helmholtz (49, I. A., S. 575, 582; II. A. 718, 726), Woinow (143, S. 160), Charpentier (Visibilité de la tâche aveugle. Compt. Rend. 126, S. 1634—1637, 1899), A. Tschermak (Über Kontrast und Irradiation, Ergebn. d. Physiol. 2, 2, speziell S. 776—779.)

[2]) Wundt (146, S. 9) bringt dieses Verhalten mit der Veränderung des Auges bei Myopie in Beziehung.

nach rechts hin gegen den Fixationspunkt und nach oben bis etwa zur gleichen Höhe mit diesem verschoben. Der rechte blinde Fleck befindet sich hingegen in seiner typischen Lage weiter seitlich und unten vom Fixationspunkte. Einen geradezu schönen Anblick möchte ich es nennen, wenn ich am Zenith des wolkenlosen italienischen Abendhimmels das Haidingersche Büschel doppelt sehe, asymmetrisch flankiert von den blinden Flecken — beides ein Ausdruck der anomalen Verschiebung der beiden Einzelfelder gegeneinander. Mit der Bezeichnung „blinder Fleck" meine ich hier durchwegs den subjektiven entopischen Eindruck als dunkler, eventuell kontrastiv gefärbter Fleck, nicht die objektive Stelle des Aussenraumes, welche auf der Eintrittsstelle des Sehnerven zur Abbildung kommt. — Meine Schielstellung, von welcher — wie ich seinerzeit eingehend nachgewiesen habe — die anomale Lokalisationsweise der Eindrücke des schielenden Auges im Prinzip völlig unabhängig ist, besteht bei Rechtsfixation und beim Nahesehen für das linke Auge in relativer Divergenz, Hebung, Rollung um die hintere Halbachse (d. h. von vorne gesehen gegen den Sinn des Uhrzeigers), beim Fernesehen jedoch jenseits ca. 1 Meter in Konvergenz, Hebung, Rollung in demselben Sinne wie beim Nahesehen. — Dazu sei noch bemerkt, dass meine früheren Angaben bezüglich der sensorischen wie der motorischen Anomalie meiner Augen heute (September 1905), 8 Jahre nach der ersten Feststellung im August 1897, unverändert zutreffen. Ich habe mich davon in der Zwischenzeit durch meine Methode der entoptischen Eindrücke und zwar der Nachbilder (unter gleichzeitiger zahlenmässiger Charakterisierung der sensorischen Anomalie), der entoptischen Makulaflecke und der entoptischen blinden Flecke, ebenso der Sehschärfenmaxima, ferner durch meine Methode der messenden Bestimmung der Schielstellung (Tschermak [125]), endlich durch die Methode der paradoxen Doppelbilder immer wieder überzeugt.

IV. Deutung der Diskrepanzerscheinungen.

„Wir wissen, dass auch ‚Täuschungen' Tatsachen sind und Gesetzen unterliegen."
Mach, Sitzungsber. der Wien. Akad. d. Wiss. 52, II. Abt., 1865, S. 320.

A. Ordnungswerte und Grössenwerte.

Die oben geschilderten Strecken- und Richtungsdiskrepanzen stellen nicht blosse Unsicherheiten des Urteils dar, welche etwa durch Übung eingeschränkt und behoben werden könnten, sondern erweisen sich — wenn wir Subjektives und Objektives, Raumempfindungen und „Raumreize" miteinander vergleichen — als typische und konstante Unrichtigkeiten oder, wie man im Geiste der älteren Erkenntnislehre zu sagen pflegt, als regelmässige Irrtümer und Täuschungen.

Für jedwede Projektionstheorie, aber auch für die Lehre von der Selbstanschauung der Netzhaut bedeuten die retinalen Diskrepanzen eine prinzipielle Schwierigkeit, welche selbst durch künstliche Hilfserklärungen nicht zu beseitigen ist. Beide Theorien müssen zunächst eine völlige Übereinstimmung zwischen Objektivem und Subjektivem fordern, d. h. zwischen der objektiven Lage der äusseren Reizquellen, bezw. ihrer Bildpunkte auf der Netzhaut, also zwischen der objektiven Lage der gereizten Elemente einerseits, ihrer subjektiven Lokalisationsweise andererseits. Das Nichterfülltsein dieser Forderung würde zur Ausflucht zwingen, dass das Projizieren ebenso die Selbstanschauung der Netzhaut typischen und konstanten Irrtümern unterworfen sei. Erscheint diese Konsequenz schon angesichts der tatsächlichen Strecken- und Richtungsdiskrepanzen bedenklich, so wird sie geradezu verhängnisvoll angesichts der Tatsache, dass der subjektive Massstab im ganzen Sehfelde, somit das gesamte Projektions- oder Anschauungssystem in gleichmässiger, aber auch in ungleichmässiger Weise veränderlich, sozusagen elastisch ist. Doch bleibe das Bezügliche späterer Erörterung vorbehalten.

Hier sei zunächst der zuerst von Recklinghausen (99, S. 133—134, ebenso 100) vertretene Einwand behandelt, dass die oben bezeichnete Forderung wirklich erfüllt sei — und zwar im Sinne der Projektionslehre —, und dass die Diskrepanzerscheinungen nur Folgen seien von Unregelmässigkeiten im bilderzeugenden d. h. reizverteilenden Apparate unseres Auges, also Folgen von Verzerrungen des Netzhautbildes beispielsweise durch Schiefstand der Hornhaut oder dergleichen. Einer solchen Annahme ist folgendes entgegenzuhalten (vergl. auch die Kritik bei Volkmann [140], S. 226—230). Die bereits recht detaillierte Kenntnis von den dioptrischen Fehlern des Auges hat uns weder dem Sinne nach noch dem Ausmasse nach geeignete Grundlagen für eine solche Erklärung kennen gelehrt — speziell nicht bezüglich des Kundtschen Teilungsversuches[1]), ebensowenig betreffs der Abweichung der subjektiv Vertikalen vom Lote. Man vergleiche auch als Gegenstück dazu die in der Regel äusserst genaue Übereinstimmung der subjektiv Horizontalen und der objektiv Wagrechten. Auch Helmholtz führte die Divergenz der Längsmittelschnitte unbedenklich auf Unregelmässigkeiten in der Anordnung der identischen Stellen zurück. Auch bleibt zudem die oben angedeutete Schwierigkeit des Massstabwechsels vollauf bestehen. — Bezüglich mancher anderer anscheinender Diskrepanzphänomene ist allerdings ein dioptrischer Grund nicht auszuschliessen.

---

[1]) Die von Ammon beschriebene Protuberantia scleroticalis des fötalen Auges führte Baum und Meissner (82, S. 5) zu der wohl unberechtigten Vermutung, dass vielleicht auch im ausgebildeten Auge eine Krümmungsverschiedenheit der äusseren und der inneren Retinahälfte vorhanden sei (vgl. auch A. Fick [38]). — Bezüglich Wundts Zurückführung der Strecken- und Richtungsdiskrepanzen auf asymmetrische Verteilung der Muskelkräfte am Auge s. unten.

Nach dem oben Gesagten ist wohl an der Tatsache der Diskrepanzen, d. h. am Bestehen von Unterschieden zwischen objektiver Lagebeziehung und subjektiver Lokalisationsweise, zwischen der geometrischen Einteilung der Netzhaut und der funktionellen Differenzierung ihrer einzelnen Elemente nicht zu zweifeln [1]). Aus dieser Erkenntnis, welche immer mehr zu festigen und im Detail auszubauen gewiss eine würdige Aufgabe von Experimentaluntersuchungen ist, ergibt sich als Konsequenz eine physiologische Auffassung der Diskrepanzerscheinungen und damit unseres Lokalisierens nach Höhe und Breite überhaupt. Eine solche muss aber die Grundlage für diese räumlichen Qualitäten unserer Gesichtsempfindungen in einer besonderen physischen Einrichtung und Differenzierung der einzelnen Elemente der Netzhaut bezw. des Sehorgans erblicken, für welche der alte Lotzesche Ausdruck „Lokalzeichen“ gewiss am einfachsten erscheint. Die damit bezeichnete physiologische Qualität der Mosaikglieder bestimmt meines Erachtens zunächst nur die relative Anordnung der dadurch vermittelten optischen Eindrücke, die relative Lokalisation. Die retinalen Lokalzeichen bedeuten zunächst nur Ordnungswerte, sie entsprechen an sich nicht bestimmten Abstands- oder Grössenwerten. Das vielfältige Variieren der Grössenwerte, des sogenannten Massstabes im Sehfelde tut dies mit Klarheit dar. Erscheint doch die Mosaik unserer optischen Eindrücke gleichsam auf einem elastischen Grunde gezeichnet, welcher in seinen Radien sowohl gleichmässig, als auch ungleichmässig dehnbar wie schrumpfungsfähig wäre. Ein gedrucktes Muster auf einer Gummischeibe mag diesen Vergleich noch sinnfälliger gestalten. Die nach den einzelnen Radien abgestufte, aber nicht ganz gleichmässig fortschreitende Differenzierung wurde bereits oben dadurch illustriert, dass dieser noch durch ein Schema veranschaulichten funktionellen Gliederung der Netzhaut (siehe Fig. 3) die morphologische Gliederung eines Blütenstandes, speziell des Blütenkörbchens einer Komposite (siehe Fig. 4), zur Seite gestellt wurde.

---

[1]) Feilchenfeld (36) führt die konstanten Fehler bei Teilung horizontaler und vertikaler Strecken auf die asymmetrische Form des einäugigen Sehfeldes zurück, auf dessen relativ weite Erstreckung nach aussen und nach unten. Dass diesem Faktor jedoch keine wesentliche Bedeutung zukommt, beweist u. a. schon das Fortbestehen der Streckentäuschungen bei Beobachtung durch eine Röhre oder bei Verwendung heller Punkte im dunklen Raum, ferner die Horopterabweichung bei binokularem Sehen, nicht minder die Gesamtheit der Richtungsdiskrepanzen. — Die von Axenfeld-Perugia (Neurol. Zentralbl. 1894), sowie von H. Liepmann und E. Kalmus (Berl. klin. Wochenschr. Jg. **37**, Nr. 38, S. 838—842, 1900) beschriebene Augenmassstörung bei Hemianopikern — Überschätzung des nach der Defektseite liegenden Streckenteiles — bedarf noch der weiteren Aufklärung (vergl. Feilchenfeld [36], S. 414—420, ferner Löser, Arch. f. Augenheilkde., März 1902). Im übrigen sei bemerkt, dass auf das Verhalten des Augenmasses bei bewegtem Blick in dem vorliegenden Aufsatze nicht eingegangen wird.

B. Einiges über den subjektiven Massstab im Sehfeld oder den optischen Grössensinn [1]).

Literatur.

H. Aubert, Physiologische Optik. 1876. § 65—66, S. 626—631.

Bourdon, La perception visuelle de l'espace. Cap. V. p. 108—135, Cap. VI. p. 136—175.

F. W. Colegrove, Notes on mental standards of length. Americ. Journ. of psychol. **10** (2), 292—294. 1899.

R. Ficher (40, 41).

Guillery (47).

Helmholtz, Physiologische Optik. § 28. I. A. S. 541—573, II. A. S. 682—716.

E. Hering, Beiträge. I. Heft, § 2, S. 13—19. V. Heft, § 124, S. 328—329, § 127, S. 342 bis 347. — Die Lehre vom Raumsinn. 12. Kap. Nr. IV. S. 552—556.

F. Hillebrand, Theorie der scheinbaren Grösse bei binokularem Sehen. Denkschr. d. Wien. Akad. d. Wiss. **72**. 1902.

Höfler, Zur Analyse der Vorstellungen von Abstand und Richtung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **10**, 223—235. 1896.

J. Jastrow, On the judgement of angles and positions of lines. Americ. Journ. of psychol. **5**, 220—223. 1893. — The perception of horizontal and vertical lines. Science N. S. **10**, 579—580. 1899.

Knox, Americ. Journ. of psychol. **6**, 413—421. 1894. (Cf. Titchener, Entgegnung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **12**, 395—396. 1896.)

J. v. Kries, Beiträge zur Lehre vom Augenmass. Beitr. z. Psychol. u. Physiol. d. Sinnesorgane. (Helmholtz-Festschrift.) Hamburg 1891. S. 173—194.

Kundt (70).

E. Mach, Über das Sehen von Lagen und Winkeln durch die Bewegung des Auges. Sitzungsberichte d. Wien. Akad. d. Wiss. **43**, II. Abt., S. 215—224. 1861.

G. Martius (80).

Ch. Montigny, Différence des appréciations de la grandeur apparente des images microscopiques par divers observateurs. Bull. de l'Acad. Roy. Belg. (2). **49**, 670—678. 1880.

H. Messer, Über Täuschungen des Augenmasses. D. J. Würzburg 1875. 34 S. — Notiz über die Vergleichung von Distanzen nach dem Augenmass. Pogg. Ann. **157**, 172—175. 1875.

Münsterberg (87).

B. O. Peirce, The perception of horizontal and of vertical lines. Science. **10**, 425—430. 1899.

R. Rivers, On the apparent size of objects. Mind. N. S. **5**, 71—80. 1896.

F. Schumann, Beiträge zur Annalyse der Gesichtswahrnehmungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol d. S.-O. (I.) **23**, 1—32. 1900. (II.) **24**, 1—33. 1900. (III.) **30**, 241—291 u. 321—339. 1902. (IV.) **36**, 161—185. 1904.

Witanabe, Americ. Journ. of psychol. **6**, 509—514. 1895.

St. Witasek, Versuche über das Vergleichen von Winkelverschiedenheiten. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **11**, 321—332. 1896.

Wundt, Grundzüge der physiolog. Psychologie. 4. A. **2**, 124—156. 1893.

O. Zoth, Augenbewegungen und Gesichtswahrnehmungen. Nagels Handbuch d. Physiol. **3**, 380—393. Braunschweig 1905.

---

[1]) Das Nachstehende soll die Lehre vom optischen Grössensinn oder vom Augenmass nicht erschöpfend behandeln, sondern daraus nur einige Argumente entnehmen, welche zur Begründung des Unterschiedes zwischen Ordnungswert und Masswert oder Grössenwert dienen. Bezüglich alles weiteren mag hier der Hinweis auf die obenstehenden Literaturdaten genügen.

Bezüglich der Gültigkeit oder Ungültigkeit des Weber-Fechnerschen Gesetzes für das Augenmass vergleiche man speziell:

W. Bihler, Beiträge zur Lehre vom Augenmass für Winkel. D. J. Freiburg 1896. 31 S.
Chodin, Ist das Weber-Fechnersche Gesetz auf das Augenmass anwendbar? Archiv f. Ophth. **23** (1), 92—108. 1877.
Fechner, Psychophysik. I. S. 211, II. S. 312 und Revision S. 338. (Ebenda betr. Volkmann.)
R. Fischer (40, 41).
Guillery (47).
Hegelmayer, Über Sinnengedächtnis. Vierordts Archiv. **11**, 844—853. 1859.
Higier, D. J. Dorpat 1890.
E. Mach (zit. oben 1861).
J. Merkel, Philos. Studien. **9**, Heft 2, 3.
Münsterberg (87).
Weber, Wagners Handwörterbuch. **3** (2), 559. 1851.

Zahlreiche Erscheinungen überzeugen uns davon, dass die spezielle Lokalisationsweise einer und derselben Netzhautstelle, d. h. die subjektive Grösse ihres Eindruckes, seine scheinbare Entfernung von den anderen gleichzeitigen Eindrücken in sehr erheblichem Masse wechselt. Dieses Verhalten, speziell die häufige Inkongruenz zwischen der Grösse des Netzhautbildes und des Anschauungsbildes, haben besonders Hering (54) und Volkmann (140) als Argument gegen die Projektionslehre hervorgehoben (vergl. auch Panum [95], G. Martius [80]). W. Holtz (64, 65) hat durch spezielle Versuche gezeigt, dass von zwei Körpern, welche sich in ungleicher Entfernung befinden, aber denselben Gesichtswinkel füllen, der fernere nicht proportional der Entfernung, sondern in geringerem Verhältnisse grösser erscheint (vergl. auch G. Martius [80]). Dasselbe gilt auch, wenn ein Entfernungsunterschied bloss subjektiv „vorgetäuscht" wird. — Zur Stütze des Satzes: „Jedes Sonderteilchen der Netzhaut vermag mit der Lichtempfindung, die es vermittelt, ein sehr verschieden grosses Stück einer gesehenen Fläche zu füllen", (54, S. 14) hat Hering speziell darauf hingewiesen, dass Objekte, deren Grösse uns aus der Erfahrung bekannt ist, auf die verschiedensten Entfernungen dieselbe Sehgrösse behalten. So lange die Aufmerksamkeit auf ein solches Objekt konzentriert ist, bestimmt es überhaupt den subjektiven Massstab des ganzen Sehfeldes, d. h. die Stärke der sogen. „Vergrösserung des gesamten Netzhautbildes". Bei Annäherung behält das bekannte, beachtete Objekt seine scheinbare Grösse: die gleichzeitige Vergrösserung seines Netzhautbildes wird eben durch ein Schrumpfen der subjektiven Grössenwerte des Gesehenen bezw. durch eine Ausdehnung des subjektiven Massstabes kompensiert (M. Sachs [103]). Rückt man beispielsweise die eigene, dauernd beachtete Hand weiter ab, so scheinen sich die anderen gleichzeitig gesehenen Objekte zu vergrössern und umgekehrt (Hering [54], S. 14—15)[1]. Andererseits bemerkt man einen deutlichen

[1]) Schon C. Ludwig (Lehrbuch der Physiologie I. Bd. S. 252, 1852) und P. L. Panum (95) schildern den Wechsel an scheinbarer Grösse, welchem der Eindruck eines näheren

Grössenunterschied zwischen den beiden Eindrücken, welche ein stark seitlich gelegenes Objekt in dem einen näher gelegenen und in dem anderen, ferneren Auge erzeugt. — Mit diesen Beobachtungen widerlegte E. Hering die These der Projektionslehre, dass die scheinbare Grösse eines Gesichtseindruckes einfach von der Grösse des Netzhautbildes bezw. vom Winkel der betreffenden Richtungslinien oder Visierlinien und von der scheinbaren Entfernung bestimmt sei [1]). Es zeigt sich vielmehr, dass die Lokalisationsweise, der funktionelle Höhen- und Breitenwert einer und derselben Netzhautstelle an Massgrösse variiert. Dementsprechend wurden die angeborenen Lokalzeichen der einzelnen Elemente des Sehorgans als blosse Ordnungswerte, nicht als stabile Masswerte bezeichnet. Auf den jeweils geltenden Massstab sind zahlreiche Faktoren, insbesondere auch psychische, wie Erfahrung und Urteil, von Einfluss, speziell in der Weise, dass sie die scheinbare Entfernung der optischen Eindrücke mitbestimmen [2]).

Extreme Fälle von Variation des Gesamtmassstabes, „nach dem wir den subjektiven Raum oder Sehraum messen" (Hering), sind aus der Pathologie als Mikropie (bedingt durch unvollkommene Akkommodationslähmung durch Mydriatika, z. B. Atropin, bei Infektionskrankheiten, nach Überanstrengung der Akkommodation) und als Makropie (bedingt durch Miotika, z. B. Pilokarpin) bekannt [3]). Nach der ursprünglichen Erklärung von Donders (1851), Aubert, Förster, Schirmer, Koster u. a. — die übrigens Donders selbst schon 1886 aufgab (Ber. d. ophthalm. Ges. zu Heidelberg 1886, S. 82) — sollten die Gegenstände bei Akkommodationslähmung deshalb zu klein erscheinen, weil infolge erhöhter Akkommodationsanstrengung die Entfernung als geringer erachtet werde. M. Sachs (103) betont demgegenüber den subjektiven Eindruck des Fernererscheinens bei Mikropie, der schon Donders selbst, Förster und Aubert aufgefallen war. Das Kleinererscheinen kommt nach M. Sachs daher, dass mit dem übermässigen Impuls zum Nahesehen ein stärkeres Schrumpfen der subjektiven Grössenwerte einhergeht, als es der wirklichen Nähe des Objektes entspricht und durch Grösserwerden des Netzhautbildes kompensiert wird.

---

und eines entfernteren Objekts unterliegt, wenn man abwechselnd für das eine oder für das andere akkommodiert bezw. darauf seine Aufmerksamkeit konzentriert.

1) Mit spezieller Rücksicht auf die scheinbare Grösse der Nachbilder hat Mayerhausen (81) diesen u. a. von Emmert (35) vertretenen Satz bekämpft und widerlegt.

2) Hering bezeichnet (54, § 124, S. 329) das Grössersehen des scheinbar Ferneren als einen im Vergleich zur primitiven Raumempfindung sekundären Vorgang — ohne damit sagen zu wollen, dass dafür nur Erfahrung und Urteil bestimmend seien und nicht vielleicht auch eine angeborene, rein sinnliche Einrichtung mitspiele.

3) Man vergl. Donders (Nederl. Lancet 1851, p. 607), Förster (Ophthalmologische Beiträge, Berlin 1862), Aubert (Phys. d. N. H.), Schirmer (108), Badal (7), R. Rivers (Mind. N. S. 5, 71—80, 1896), W. Reis (Über Augenmassprüfungen unter dem Einflusse pharmakologischer Agentien. D. J. Bonn 1895), Reddingius (Das sensumotorische Sehwerkzeug. 2. Teil. Leipzig 1898), Koster (68), M. Sachs (103), O. Zoth (Handbuch der Physiologie. 3, 389. 1905).

Eine gesonderte Betrachtung erfordert die Mikropie bezw. das scheinbare Fernerrücken der Gegenstände ohne Änderung ihrer scheinbaren Grösse (Porropsie nach Heilbronner), wie es im Gefolge von Erkrankungen des Grosshirns, u. a. bei Epilepsie, vorkommt[1]). Dieser Zustand kann mit einer Störung der Vorstellungen von Lage und Bewegung des Gesamtkörpers oder seiner einzelnen Teile, also mit allgemeinem oder partiellem Schwindel verknüpft sein.

Es sei auch an die Massstabschwankungen in Form von Scheinbewegung bezw. Schwellung oder Schrumpfung erinnert, welche während und nach Betrachtung einer langsam rotierenden Spiralfigur zu beobachten sind — im letzteren Falle als gegensätzliches oder negatives Nachbild.

Der subjektive Massstab erweist sich aber nicht bloss im ganzen und gleichmässig, sondern auch partiell und ungleichmässig variabel. Zunächst besitzen bekanntlich sichtbare Teilungsmarken einen wesentlichen Einfluss auf die scheinbare Grösse von Strecken und Flächen, ebenso ein Kontur einen Einfluss auf die scheinbare Ausdehnung und Richtung eines von ihm geschnittenen zweiten Konturs. Das ganze Heer der sogen. geometrisch-optischen Täuschungen bietet die Illustration für diesen Satz. Nur an die Zöllnersche Täuschung, die Heringschen Figuren (54, § 23—28, S. 65—80; 58, S. 372—374), sowie die Müller-Lyersche Täuschung sei hier im Vorübergehen erinnert. Auch der Unterscheidung von vier Klassen nach Wundt sei gedacht: umkehrbar perspektivische Täuschungen, variable und konstante Strecken- und Richtungstäuschungen, Assoziationstäuschungen. Der Einfluss reproduktiver psychischer Elemente — simultaner Assoziationen nach Wundt — wurde speziell von Filehne und Wundt betont. Auf die Versuche einer Erklärung jener Phänomene kann hier nicht eingegangen werden, es genüge die Notierung einiger der wichtigeren Literaturdaten.

Literatur.

J. J. van Biervliet, Nouvelles mesures des illusions visuelles chez les adultes et les enfants. Rev. philos. **41**, 169—181. 1896.

A. Binet, La mesure des illusions visuelles chez les enfants. Rev. philos. **40**, 11—25. 1895.

F. Brentano, Über ein optisches Paradoxon. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **3**, 349—358, 1892 und **5**, 61—82, 1893. Vergl. Th. Lipps, ebenda **3**, 498—504. 1892.

Bourdon, La perception visuelle de l'espace. Cap. XI, p. 296—316. Paris 1902.

Delboeuf (28).

W. Einthoven (34).

---

[1]) Vergl.:

Veraguth, Über Mikropsie und Makropsie. D. Zeitschr. f. Nervenheilkde. **24**, 453.

Pfister, Zur Kenntnis der Mikropsie und der degenerativen Zustände des Zentralnervensystems. Neurol. Zentralbl. 1904. S. 6.

K. Heilbronner, Über Mikropsie und verwandte Zustände. D. Zeitschr. f. Nervenheilkde. **27**, 414—423. 1904.

W. Filehne, Die geometrisch-optischen Täuschungen als Nachwirkungen der im körperlichen Sehen erworbenen Erfahrung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **17**, 15—61. 1898.

E. Hering, Beiträge. Heft I. S. 65.

Heymans, Quantitative Untersuchungen über das „optische Paradoxon“. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **9**, 221—255. 1896.

Holtz (63, 64, 65).

Th. Lipps, Die geometrisch-optischen Täuschungen. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **12**, 39—59. 1896. — Raumästhetik und geometrisch-optische Täuschungen. Schriften d. Ges. f. psychol. Forschung. Heft 9, 10. 1897. Vergl. auch Beiträge zur Psychol. u. Physiol. d. S.-O. (Helmholtz-Festschrift) 1891. S. 217—308.

F. C. Müller-Lyer, Zur Lehre von den optischen Täuschungen. Über Kontrast und Konfluxion. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **9**, 1—16. 1896.

Derselbe, Optische Urteilstäuschungen. Du Bois Archiv. Suppl.-Bd. 263—271. 1889.

J. J. Oppel (93).

H. J. Pearce, Über den Einfluss von Nebenreizen auf die Raumwahrnehmung (bezüglich Analogien im Raumsinn der Haut). D. J. Würzburg 1903 und Arch. f. d. ges. Psychol. **1** (1), S. 31—109. 1903.

F. Schumann (oben zit.)

H. Stadelmann, Beitrag zur Theorie der geometrisch-optischen Täuschungen. Festschr. d. phys.-med. Ges. zu Würzburg. 1899.

Thiéry, Über geometrisch-optische Täuschungen. Philos. Studien. **11**, 307—370, 603—620. 1895. **12**, 67—126. 1896.

Volkmann (140) spez. S. 156, 162.

St. Witasek, Über die Natur der geometrisch-optischen Täuschungen. Zeitschr. f. Psychol. und Physiol. d. S.-O. **19**, 81—174. 1898.

W. Wundt (146, S. 27—80) und Die geometrisch-optischen Täuschungen. Abh. d. sächs. Ges. d. Wiss. **42**, Nr. 2. 1898.

Zehender, Über geometrisch-optische Täuschung. Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **20**, 85—117. 1899.

F. Zöllner, Über eine neue Art von Pseudoskopie. Pogg. Ann. **110**, 500—525. Cosmos. **18**, 289—290. Zeitschr. f. Naturw. **16**, 60—63. 1860.

Derselbe, Über die Abhängigkeit pseudoskopischer Ablenkung paralleler Linien von dem Neigungswinkel der sie durchschneidenden Querlinien. Pogg. Ann. **114**, 587—594. 1861.

Das Vorkommen eines eigentlichen Kontrastes d. h. einer gegensätzlichen Einwirkung gleichzeitiger Eindrücke aufeinander hat für den Grössensinn der Netzhaut speziell J. Loeb (74, 75) vertreten. Auch Mach (77, A. d. E. S. 98) und Helmholtz (49, II. A. S. 714) haben eine solche Möglichkeit diskutiert (vergl. auch J. M. Baldwin [8], C. Reichel [101], Bourdon [12, § 132, p. 309]). J. Loeb stützt seine Auffassung speziell auf die Tatsache, dass der Abstand eines Objektes von einem anderen (nach Breite, Höhe oder Tiefe) grösser zu werden scheint bei Einbringen eines dritten Objektes zwischen beide, kleiner bei Anfügen eines dritten nach aussen von einem der beiden Objekte. Die Versuche geschahen unter Simultanvergleich d. h. die zu beurteilende Strecke (Abstand von Punkten oder Streifen von einer Geraden) wurde gleichzeitig in duplo dargeboten, jener Versuch aber bloss an der einen ausgeführt.

Einen interessanten Fall ungleicher Änderung des Massstabes innerhalb des Sehfeldes stellt ferner die Winkelverzerrung dar, welche ein Kreuz oder

ein Stern erleiden kann bei mechanischer Reizung des inneren Ohres (Urbantschitsch [132] vergl. unten).

Nicht unerwähnt bleibe ferner die viel diskutierte Winkelverzerrung, welche das Nachbild eines rechtwinkeligen Kreuzes oder der Fläche eines rechten Winkels erfährt beim Übergang der Gesichtslinie aus der Primärstellung oder einer Sekundärstellung in eine Tertiärstellung: die Verzerrung zeigt den umgekehrten Sinn bei Blickbewegung von einer Tertiärstellung aus (Ruete, Helmholtz, Volkmann, Donders, Hering). Jene Erscheinung lässt sich beschreiben als Schrumpfung der in der Bewegungsbahn gelegenen Quadranten und als Schwellung der senkrecht dazu gelegenen. Sie tritt nicht bloss dann ein, wenn der Hintergrund — wie bei der üblichen Demonstrationsweise — in Quadrate geteilt ist, sondern auch bei Beobachtung des Nachbildes auf einer gleichmässigen frontalen Ebene. Beim Beobachten durch eine Röhre (Volkmann [140], S. 154) oder bei willkürlicher Änderung der Augenstellung hinter den geschlossenen Lidern (Volkmann [140], S. 154) oder bei Beobachten des Nachbildkreuzes auf dem Himmelsgewölbe (Bourdon [12], p. 45—46) wird von den genannten Autoren eine blosse Drehung des ganzen Kreuzes (und zwar ein Schiefwerden des vertikalen Armes im gleichen Sinne wie sonst), aber keine Verzerrung angegeben. Das bezeichnete Problem bedarf meines Erachtens jedenfalls weiterer Untersuchung; einschlägige Studien habe ich bereits begonnen [1]). — Auf jene interessante Änderung des Massstabes, welche der subjektiven Gewölbeform des Himmels, dem Verschiedengrosserscheinen der Gestirne sowie der an ihnen gewonnenen Nachbilder am Horizont und im Zenit zugrunde liegt, sei hier nicht eingegangen.

Endlich sei noch der als Metamorphopsien bezeichneten Verzerrungen im subjektiven Anschauungsbilde sowie ihrer anpassungsweisen Kompensation gedacht. Dieselben beruhen entweder auf Verzerrung des Netzhautbildes — bedingt durch Astigmatismus der brechenden Medien, speziell der Hornhaut, oder durch prismatische, unpassend astigmatische oder mangelhaft zentrierte Brillengläser. Aber auch pathologische Lageänderung der Netzhaut, beispielsweise lokale Erhebung durch ein Exsudat, kann Metamorphopsie hervorrufen (Förster [1862], S. 10, Classen [15], S. 34, Schirmer [109], Badal [7]). Im letzteren Falle sah Wundt (146, S. 5—11) die Scheinverzerrung nach Narbenbildung im Augenhintergrund schliesslich schwinden und vermutet eine anpassungsweise lokale Änderung des Massstabes, da die einzelnen Netzhautelemente wohl nicht in ihre ursprüngliche Lage zurückgekehrt sein dürften. Astigmatiker, denen Rechtecke trotz verzerrter Abbildung rechtwinkelig erschienen, zeigten nach Korrektion der Refraktionsanomalie zunächst Metamorphopsie trotz rechtwinkeliger Abbildung auf der Netzhaut; allmählich aber änderte sich

[1]) Versuche, die scheinbare Vertikale im Vergleich zum Lote bei Sekundär- und Tertiärstellung des Auges zu bestimmen, hat Dastich auf Veranlassung von Helmholtz angestellt (49, I. A. S. 610, II. A. S. 754).

F.B. Delabarre, Accuracy of perception of verticality and the factors that influence it. J. of Philos., Psychol. and Scient. Meth. 1(4) p.85-94. 1904.

B. Bourdon, La perception de la verticalité de la tête et du corps.
Rev. philos. 57 Bd. (Jg. 29, 5)
p. 462-492. 1904.

der Massstab entsprechend um (Friedenwald [43]). Eine analoge adaptative Korrektion tritt allmählich ein bei Metamorphopsien, wie sie eventuell durch Brillengläser zunächst erzeugt werden; nach Ablegen der Gläser können die Verzerrungen wieder auftreten und zwar im entgegengesetzten Sinne, um schliesslich neuerdings zu verschwinden (Wundt und O. Schwarz [146], S. 10–11).

C. Über die Natur der retinalen Ordnungswerte.

Im obigen wurde auf Grund der optischen Diskrepanzerscheinungen den Elementen des Sehorgans eine gewisse physiologisch begründete Eigentümlichkeit zugesprochen, vermöge derer der Eindruck eines mehr exzentrisch gelegenen Elements immer weiter vom fixierten Punkt entfernt erscheint als der Eindruck eines weniger exzentrisch gelegenen Elements im selben Netzhautmeridian. An diese Auffassung knüpft sich alsbald die Frage, ob jene retinalen Lokalzeichen oder Ordnungswerte von vorneherein eine Bestimmung nach Höhe und Breite enthalten. Andernfalls wäre im Sehfelde zunächst nur eine radiäre Anordnung der Eindrücke gegeben, die Einstellung der Sehfeldscheibe in das Koordinatensystem „vertikal-horizontal, rechts-links" und damit die Bestimmung von Höhen- und Breitenwert für das einzelne Netzhautelement würde erst sekundär, etwa durch Einflussnahme anderer Sinnesgebiete erfolgen.

1. Rolle des Labyrinths.

Gewisse Erfahrungen lehren uns, dass das Labyrinth darauf Einfluss zu nehmen vermag, welcher Netzhautmeridian unter den gegebenen Bedingungen die Empfindung vertikal bezw. horizontal vermittelt.

Eine Beziehung des Labyrinths zum Auge und zwar zum okulomotorischen Apparat scheint sich zunächst zu verraten durch das Eintreten einer Raddrehung oder Rollung beider Bulbi um die Gesichtslinien bei seitlicher Neigung des Kopfes und aufrechter Körperhaltung[1]), ebenso bei

[1]) J. Hunter (1776), Joh. Müller (1826, contra), A. W. Volkmann (1836), A. Hueck (1838), Tourtual (1840), Burow (1841), Krause (1843), Ritterich (1843, contra), Ruete (1846, contra), Donders (1846, contra; 1871, 1875 pro), Valentin (Lehrb. 2, 332), A. von Graefe (1854, contra bez. Mensch), Javal (1866), J. Hock (1867), A. Nagel (1868, 1871), Helmholtz (Physiol. Optik), E. Hering (1869), Aub u. Knapp (1870, contra), Woinow (1870, 1871), Skrebitzky (1870, 1871), J. J. Müller (1871), Dobrowolsky (1872), Kostareff (1872), Le Conte (1872), W. Schoen (1874, 1875), Breuer (1874), Mulder u. Küster (1874, 1875, 1876), van Moll (1888), Ferri (1891), O. Schwarz (1893), Contejean u. Delmas (1894, contra), Maddox (1894).

An neueren Arbeiten seien hervorgehoben:

V. Urbantschitsch, Über die vom Gehörorgane auf den motorischen Apparat des Auges stattfindenden Reflexeinwirkungen. Wien. klin. Wochenschr. 1896. Nr. 1.

W. A. Nagel (91), zugleich historischer Überblick; vgl. auch (92).

Y. Delage, Le mouvement de torsion de l'oeil. Arch. de zool. expérim. et générale. 1903.

R. P. Angier (2).

Drehung des horizontal liegenden Körpers um seine Längsachse (A. Nagel). Diese Stellungsänderung ist bekanntlich zu Anfang erheblich, sinkt aber bald auf einen relativ geringen Betrag resistenter Rollung ab. Sie ist der Kopfneigung — bis zu einem bestimmten, sehr beträchtlichen Betrage derselben — entgegengesetzt[1]) und erscheint somit — beim Menschen allerdings nur mit einem jenseits enger Grenzen bereits unzureichenden Erfolg, nicht so bei Tieren (W. A. Nagel [91]) — darauf gerichtet, die bisherige Einstellung der Netzhautmeridiane, speziell die fast lotrechte der Längsmittelschnitte und die wagrechte der Quermittelschnitte, zu erhalten und damit eine Verschiebung des Bildes auf der Netzhaut zu verhindern. Dementsprechend wird diese de norma stets beiderseits gleichsinnige und gleichmässige Rollung als eine kompensatorische oder anpassungsweise bezeichnet (R. P. Angier [2] gegenüber Y. Delage, welcher erhebliche Unterschiede zwischen beiden Augen angab). Ihre Vermittelung durch das Labyrinth wurde von W. A. Nagel (91) durch Tierexperimente[2]) erwiesen; an Fröschen, Fischen uud Kaninchen kommen nämlich die kompensatorischen Raddrehungen nach Labyrinthzerstörung in Wegfall (vergl. auch Hueck, Albrecht von Graefe; Cyon 1897 contra). An taubstummen Menschen mit Labyrinthstörung fand Feilchenfeld (37) allerdings die reflektorische Gegenrollung bei seitlicher Neigung des Kopfes noch vor, doch ist in diesen Fällen das Bestehen funktionierender Reste der Labyrinthe wohl nicht auszuschliessen. Labyrinthären Ursprungs sind wohl auch die Augenbewegungen, welche reflektorisch durch aktive oder passive Drehungen des Körpers ausgelöst werden (vergl. speziell St. v. Stein [115]). An Taubstummen mit Labyrinthstörung fehlt der Schwindel bei Drehung des Körpers um die Längsachse (James [66]), sowie der Nystagmus bei geschlossenen Augen, nicht so offenen (St. v. Stein [115]). Zudem sei erinnert an die Augenmuskellähmungen, welche nicht so selten bei pathologischen Affektionen des Labyrinths im Anschlusse an Otitis media, ferner bei Tabes zur Beobachtung kommen. Zumeist handelt es sich um vorübergehende Abduzenslähmung gleicherseits (Keller, Boerne-Bettman, Styx, Urbantschitsch, P. Bonnier, bezüglich Tabes Dieulafoy, Giraudeau). Nicht bloss im Tierexperiment (Flourens, Brown-Séquard, Hitzig, Cyon, Baginsky, Lucae, Högyes, Sewall, Ewald, Bonnier, Y. Delage u. a.), auch beim Menschen veranlasst Reizung des Labyrinths Nystagmus (Schwabach, Pflüger, Deleau, Kipp, Burckner, Moos, Jansen, M. Cohn, Gellé, Verdos, Urbantschitsch, Laurens, Juliusberger, P. Bonnier[3]).

---

1) Jenseits dieses Umschlagspunktes erfolgen weit kleinere, positive Rollungen statt der bisherigen negativen (W. A. Nagel [91], Y. Delage, R. P. Angier [2]).

2) Vertikaldivergenz der seitlich stehenden Augen der Fische bei Seitenlagerung wurde beschrieben von J. Loeb (1891, 1894), F. R. Lee (1893, 1894, 1898), A. Tschermak (1902).

3) Zitate nach P. Bonnier (10), p. 182—196.

Einen Hinweis auf einen sensorischen Einfluss des Labyrinths auf das Auge und zwar auf die optische Vertikale und damit auf die Orientierung des Sehfeldes scheint die Beobachtung Auberts (5) zu bilden, dass seitliche Neigung des Kopfes dazu führt, im Dunkeln ein allein sichtbar gemachtes, leuchtendes Lot schief zu sehen und zwar für die meisten Beobachter gegen den Sinn der Kopfneigung gedreht, für manche aber im gleichen Sinne. Im ersteren Falle muss die Linie, um vertikal zu erscheinen, mit dem oberen Ende im gleichen Sinne geneigt werden wie der Kopf. Für das Zustandekommen dieser als „Aubertsches Phänomen“ bezeichneten „Täuschung“ ist die Lage des Kopfes zur Lotrechten entscheidend, nicht aber die Lage des übrigen Körpers oder die relative Lage des Kopfes zum Stamme. Im Hellen, bezw. solange bekannte Objekte mit lotrechten Konturen mit sichtbar sind, fehlt die Täuschung d. h. es vermittelt der jeweils lotrecht eingestellte Netzhautmeridian die Empfindung „vertikal.“ — Die Vermittelung der Erscheinung durch das Labyrinth, für welche besonders Cyon (22) eingetreten ist, erscheint allerdings noch nicht völlig sicher erwiesen, wenn auch sehr wahrscheinlich.

Die späteren Untersuchungen von Mulder (88, 89), Y. Delage (26, 27), A. W. Nagel (92), Sachs und Meller (105, 106), Feilchenfeld (37), Bourdon (12), Alexander und Bárány (1) ergaben Analoges für eine schwarze Linie oder ein schwarzes Kreuz auf gleichmässig hellem Grunde und bestätigten das merkwürdige Variieren dieser Erscheinung selbst bei einem und demselben Beobachter — u. a. ihre Zunahme bei längerem Aufenthalt im Dunkeln. Auch besteht für W. A. Nagel (88) keine eigentliche Proportionalität zwischen dem Grade der Kopfneigung und der scheinbaren Neigung der Lotrechten. Feilchenfeld (37) allerdings findet eine solche für sich und seine Mitbeobachter. Für die Mehrzahl der Untersucher wird die Linie erst bei einer Kopfneigung von etwa 50 - 60° plötzlich erheblich schief und wächst auch weiterhin die Abweichung in unregelmässiger Weise, ja unter gelegentlichem plötzlichen Zurückgehen (W. A. Nagel [92]). Aubert (5) fand als Maximum der Korrektionseinstellung 25—45° bei 120—140° Kopfneigung, Bourdon (12, § 88, p. 166—173) 8—25° bei 90° Kopfneigung. Während der Ausführung der Kopfneigung konnte W. A. Nagel (92), ebenso Bourdon (12, p. 170) eine Scheindrehung des Lotes im gleichen Sinne mit der Kopfneigung beobachten, andere Untersucher im entgegengesetzten Sinne.

Sachs und Meller (105, 106) fanden bei ihren eingehenden Beobachtungen, welche nicht bloss die optische, sondern auch die haptische Vertikale betrafen, bei geringen Kopfneigungen (bis 50°) das obere Ende eines leuchtenden Lotes scheinbar im gleichen Sinne geneigt, bei stärkeren Kopfneigungen im entgegengesetzten Sinne und zwar wachsend mit dem Neigungsgrad, beispielsweise war bei 160° eine Korrektionsdrehung im gleichen Sinne von 40—50° notwendig. Die genannten Autoren ziehen aus diesem Verhalten

den Schluss, dass die Gegenrollung der Augen bei schwachen Kopfneigungen den Fehler der Lokalisation mit verschuldet, bei hochgradigen Kopfneigungen dagegen nicht ausreicht, um seinem Auftreten vorzubeugen.

Bei Taubstummen mit anscheinend lädierten Labyrinthen konstatierte Feilchenfeld (37) ein Bestehen der Aubertschen Täuschung ohne merkliche Verringerung. Es spräche dies gegen eine Vermittelung jenes Phänomens durch das Layrinth. Allerdings zeigten die betreffenden Beobachter auch reflektorische Gegenrollung der Augen bei seitlicher Kopfneigung, so dass es meines Erachtens nicht unwahrscheinlich ist, dass noch funktionierende Reste der Labyrinthe vorhanden waren. Dasselbe mag von den Beobachtungen G. Alexanders und Báránys (1) gelten, welche bei Taubstummen ebenso wie bei Normalen zu verschiedenen Zeiten, aber auch während einer längeren Versuchsreihe, ein scheinbares Abweichen des Lotes bald in dieser, bald in jener Richtung konstatierten.

Eine Änderung der scheinbaren Vertikalen tritt ferner ein bei Einwirkung einer Zentrifugalkraft, z. B. bei Rotation um eine ausserhalb des aufrecht gehaltenen Körpers gelegene lotrechte Achse, speziell beim Durchfahren einer Kurve auf der Eisenbahn (Mach [78], S. 23, Hitzig [60, 61], Cyon [22]): lotrechte Objekte erscheinen dabei mit dem oberen Ende von der Drehungsachse weggeneigt. Breuer nnd Kreidl ([13], vergl. auch Kreidl [69]) fanden eine Korrektionsdrehung von etwa 8,5° notwendig. Die beiden genannten Autoren beziehen die Erscheinung auf die reflektorische Änderung der Augenstellung, gleichsinnige Rollung der oberen Enden der Längsmittelschnitte nach der Drehungsachse zu. Bei Taubstummen mit lädierten Labyrinthen, welche auf der Drehscheibe im Gegensatze zum Normalen ein Fehlen des Nystagmus bei geschlossenen Augen zeigen (St. v. Stein [115]), erwies sich jene Täuschung als verringert oder fehlend.

Auch bei einer nicht adäquaten Reizung des Labyrinths zeigt sich ein deutlicher Einfluss auf die optische Vertikale. So konnte W. A. Nagel (92) bei galvanischer Querdurchströmung des Hinterkopfes scheinbare Drehung und Dauerabweichung eines Lotes feststellen und zwar mit dem oberen Ende gegen die Kathode hin. Raddrehungen der Bulbi waren während dieses Versuches kaum nachweisbar. Andererseits ergibt nach Urbantschitsch (132) mechanische Reizung des inneren Ohres, beispielsweise durch Ausspritzen, in pathologischen Fällen häufig scheinbare Drehung bezw. Pendelbewegung und Abweichung der Vertikalen bezw. Schiefstand eines rechtwinkeligen Kreuzes, was allerdings durch reflektorische Raddrehung der Augen bedingt oder mitbedingt sein könnte. Beweisend für einen direkten Einfluss auf die optische Lokalisation ist jedenfalls der gelegentliche Effekt einer ungleichmässigen Massstabänderung im Sehfelde, nämlich scheinbare Verzerrung eines rechtwinkeligen Kreuzes oder sektorenweise Fächerbewegung einer Sternfigur, von Schwindelempfindung begleitet.

Endlich sei auf jene Beobachtungen von Cyon (22) und Urbantschitsch (133) hingewiesen, welche — wenigstens für gewisse Individuen — einen Einfluss fremder Sinnesgebiete, speziell des Gehörs, auf die optische Lokalisation anzeigen.

Die angeführten Daten lassen, wenigstens mit Wahrscheinlichkeit, einen nicht unerheblichen Einfluss des Labyrinths auf die objektive Orientierung des Bulbus wie auf die subjektive Orientierung des Sehfeldes erschliessen. Doch reichen sie nicht aus, etwa die Annahme zu stützen, dass die subjektive Einstellung oder Orientierung der optischen Eindrücke überhaupt erst durch die Einwirkung des Labyrinths oder anderer nervöser Apparate zustande käme. Abgesehen von so manchen anderen Einwänden würde bereits die Tatsache, dass Menschen mit missgebildeten oder zerstörten Labyrinthen anscheinend über eine präzise optische Orientierung verfügen, einer solchen These nicht geringe Schwierigkeiten bereiten.

Demgegenüber besitzt die Vorstellung eine weit grössere Wahrscheinlichkeit, dass die retinalen Lokalzeichen von vornherein eine doppelsinnige Verschiedenheit im Sinne von Höhe und Breite besitzen, dass somit den einzelnen Elementen des Sehorgans an und für sich subjektive Höhen- und Breitenwerte zukommen, allerdings im Sinne von Ordnungswerten, nicht von Massgrössen. Demgemäss wäre dem oben zunächst als rein radiär angedeuteten Differenzierungsschema eigentlich eine kompliziertere Form zu geben. Die Komplikation erscheint dadurch noch erhöht, dass neben der primären, retinalen Veranlagung ein sekundärer, wechselnder Einfluss anderer Faktoren, speziell des Labyrinths, zuzugeben ist. Zugunsten der Anschauung, dass der einzelnen Netzhaut an und für sich eine zweidimensionale Differenzierung zukommt, spricht speziell folgender Umstand. Jene physiologische Eigentümlichkeit der nichtkorrespondierenden Netzhautelemente, welche der binokularen Tiefenwahrnehmung oder Stereoskopie zugrunde liegt, erweist sich nach Hering als geknüpft an eine funktionelle Querverschiedenheit oder Querdisparation der Netzhautelemente im Verhältnis zum Längsmittelschnitt. Hingegen ist die Längs- oder Höhenverschiedenheit relativ zum Quermittelschnitt für die Tiefenqualität des Eindruckes indifferent (Hering gegenüber Helmholtz, bestätigt von Heine, Weinhold, Kothe)[1].

---

[1]) Vergl.:

Heine, Über die Bedeutung der Längenwerte für das Körperlichsehen. Zeitschr. f. Augenheilk. 1903, S. 351.

Kothe, Über Längsdisparationen und über die Überplastizität naher Gegenstände. Archiv f. Augenheilk. 49, 338—349, 1903. ×

Weinhold, Über das Sehen mit längsdisparaten Netzhautmeridianen. Archiv f. Ophth. 54, 201—210, 1902.

Derselbe, Über Entfernungsvorstellungen bei binokularer Verschmelzung von Halbbildern. Archiv f. Ophth. 59, 459—471, 1904.

× Derselbe, Über Tiefenvorstellung und Tiefenwahrnehmung. Z. f. wiss. Photographie I. 1903. S. 315.

2. *Rolle der Augenmuskeln.*

Von vielen Seiten wurde früher die Annahme vertreten, dass entweder mit den an die Augenmuskeln abgegebenen zentralen Impulsen spezifische Innervationsempfindungen verknüpft seien, oder dass der periphere Kontraktionsakt zu direkten Muskelspannungsempfindungen, zu einem sogen. Stellungsbewusstsein des Auges führe. Steinbuch (116) liess überhaupt die Vorstellung des räumlichen Nebeneinander im Sehfelde geradezu dadurch entstehen, dass jede einzelne exzentrische Netzhautstelle in Beziehung stehe mit bestimmten Kontraktionsgraden der verschiedenen Augenmuskeln. Diese sogen. Muskelidee entspreche der Richtung und Grösse jener Bewegung, welche beim Übergang zur direkten Betrachtung statt des betreffenden exzentrischen Netzhautpunktes die Netzhautmitte zur Einstellung bringt (man vergl. die Kritik dieser Theorie bei Joh. Müller [86], S. 52—55). In analoger Weise leiteten später E. v. Brücke, Wundt (144)[1]), Cornelius (17, 18, 19), Delboeuf (28) die optische Lokalisation nach Höhe, Breite und Tiefe aus Bewegungserfahrungen ab. Nach Wundts neuerer Formulierung (146, S. 98—118) setzt allerdings seine genetische Theorie der räumlichen Wahrnehmungen bezw. der komplexen Lokalzeichen neben den intensiv gradweise abgestuften Spannungsempfindungen, welche die Stellungen und Bewegungen des Auges begleiten, auch qualitative Unterschiede der Netzhautempfindungen voraus, welche vom Orte des Eindruckes auf der Retina abhängen. Jene beiden Kategorien von Empfindungen oder Erregungen stehen in gesetzmässiger Verbindung miteinander, sie bilden zusammen gewissermassen komplexe Lokalzeichen.

Ohne die Bedeutung der Augenbewegungen für die Raumvorstellung zu unterschätzen, darf man heute doch einen myogenen Ursprung und Charakter derselben als widerlegt bezeichnen. Erscheint doch die Existenz intensiv gradweise abgestufter Spannungsempfindungen der Augenmuskeln, zumal von solcher Feinheit der Abstufung, wie sie nach der Unterschiedsempfindlichkeit für Höhe, Breite, Tiefe anzunehmen wäre, durchaus unerwiesen. Vielmehr sprechen nicht wenig Erfahrungen, deren detaillierte Darlegung hier zu weit führen würde, entschieden gegen die Annahme eines solchen Systems von Stellungs- und Bewegungsempfindungen, eines eigentlichen Stellungsbewusstseins der Augen. Speziell hat E. Hering eingehend dargetan, dass die Stellung und Bewegung des Doppelauges — weit entfernt davon

---

[1]) In seiner „Theorie der Sinneswahrnehmung" (144, S. 158) und in den „Grundzügen der Psychologie" (145, Bd. 2, S. 137—140) erklärt Wundt die Strecken- und Richtungsdiskrepanzen als bedingt durch asymmetrische Verteilung der Muskelkräfte am Augapfel. — Eine eingehende Kritik der myogenen Theorie von Wundt hat F. Hillebrand (Zeitschr. f. Psychol. u. Physiol. d. S.-O. **7**, 97 und **16**, S. 104) speziell gegenüber Arrer (Philos. Stud. **13**, S. 139) gegeben. — Man vergl. auch die neueren myogenen Theorien der Raumvorstellung von Leroy (72), H. Sachs (102), E. Storch (119).

die primäre Quelle der Lokalisation zu sein — nichts anderes ist als der Ausdruck, der gewissermassen reflektorisch eintretende Effekt der jeweiligen Lage der Aufmerksamkeit, somit eine Folge der primären Lokalisationsweise des Zielpunktes für den Blick darstellt [1]). In analoger Weise beruht das sensorische Zusammenarbeiten, die angeborene Sehrichtungsgemeinschaft der Netzhäute nicht auf der gleichfalls kongenital begründeten Assoziation der beiden Bewegungsapparate. Allerdings setzt uns erst die letztere Einrichtung in Stand, die sensorische Verknüpfung beider Augen praktisch zu verwerten; doch an und für sich erweist sich die sensorische Korrespondenz als unabhängig von der motorischen Synergie. Ja, die sensorische Verknüpfung bezw. die Reizwirkung gleichgestalteter, die Aufmerksamkeit fesselnder Doppelbilder veranlasst erst durch den zwangmässigen Fusionsreflex die völlig präzise Richtigstellung der beiden Gesichtslinien. Selbst bei erheblichen angeborenen Ungleichheiten in der Gleichgewichtslage beider Bulbi kommt auf diese Weise eine tonische Korrektur zu stande (Hofmann und Bielschowsky [62], vergl. auch Tschermak [126] S. 16).

Auf der anderen Seite scheinen mir aber die Augenmuskeln keineswegs jedweder „sensorischen" Rolle zu entbehren (Tschermak [128], 40—41; Gehirn 60—61) [2]). Dieselbe bedingt allerdings kein Bewusstsein von der Stellung unserer Augen, keine Wahrnehmung der Spannungsverteilung im okulomotorischen Apparat. Vielmehr ist mit einer bestimmten Verteilungsweise der Kontraktion bezw. des Tonus auf die Augenmuskeln, sozusagen mit einem bestimmten objektiven Spannungsbilde die Qualität „scheinbar geradevorne" für den optischen Eindruck verknüpft und zwar beim normalen Binokularsehenden mit einer angenähert symmetrischen Konvergenzstellung (Hering [58], S. 413, Sachs und Wlassak [104], Bourdon [12], § 81); andererseits ist die Qualität „scheinbar gleichhoch mit den Augen" verknüpft mit einem bestimmten mässigen Senkungsgrad der Blickebene. So erscheint mir der von der Meeresfläche gebildete Horizont, selbst von einem ziemlich erhöhten Beobachtungspunkte aus, deutlich höher wie meine Augen — die Meeresfläche selbst wie eine Schale oder die Innenwand eines Kraters ansteigend [3]). — Bei der Bestimmung von

---

[1]) Es seien nur als einer der zahlreichen Belege folgende Sätze zitiert (54, Heft 5, § 127, S. 344): „Das Gefühl oder die Vorstellung der Nähe geht der Konvergenzbewegung der Augen voran, ist Ursache, nicht Folge dieser Bewegung. Die Erklärung des Nahesehens aus Muskelgefühlen erscheint daher nicht nur überflüssig, sondern auch als Umkehrung des wahren Sachverhaltes."

[2]) Vergl. andererseits Bourdon (11) und (12), § 83, p. 159.

[3]) Eine eingehendere Untersuchung dieses Problems habe ich begonnen. — Bourdon (12, § 82, p. 153—158) bestimmte bei „instinktiver" Einstellung (Benützung eines Lichtpunktes im dunklen Raum) für sich einen gewissen Senkungsgrad, bei vermeintlicher Korrektur durch Überlegung einen gewissen Hebungsgrad: letzteres traf auch für den Mitbeobachter G. zu, während für den anderen (Blanche) das wirkliche und das scheinbare Gleichhoch zusammenfielen. R. Mc Dougall (76) fand für sich im Hellen eine mässige, im Dunklen eine erheblichere Abweichung nach unten.

„geradevorne“ und „gleichhoch“ wird nicht jenes objektive Spannungsbild wahrgenommen; seine einzelnen Komponenten bezw. die dadurch ausgelösten sog. sensiblen Erregungen besitzen keine Bewusstseinskorrelate. Vielmehr ruft jener unbewusste Komplex schliesslich eine relativ einfache Empfindung als psychischen Endeffekt hervor. Ein Gleiches gilt vom Stellungs- und Bewegungssinn unserer Glieder. Übrigens besteht ein analoges Verhältnis zwischen unserer Bewegungsintention, bezw. Bewegungs- und Stellungsvorstellung, und der Verteilungsweise des Impulses bezw. der Kontraktion auf die einzelnen Muskeln, dem objektiven Kontraktions- oder Spannungsbilde, dessen einzelne Komponenten nicht „gewollt“ sind. In beiden Fällen ist das objektive Spannungsbild, allgemein gesprochen, ein sehr kompliziertes, die damit verknüpfte Empfindung oder Vorstellung bezw. Intention kann eine sehr einfache sein, beispielsweise die Empfindungsqualität „gerade vorne“ oder „gleich hoch“ oder die Intention eine einfache Armbeugung auszuführen.

Jene Verknüpfung einer bestimmten Augenstellung mit einer Empfindung von bestimmter „absoluter“ Lokalisation (d. h. von Lokalisation des ganzen Sehfeldes relativ zum eigenen Kopfe und Körper bezw. zu deren subjektivem Fühlbild nach Hering [54, 58]) ist allerdings einer weitgehenden Abänderung und Anpassung fähig. Bei vorwiegendem Gebrauch des einen Auges seitens sonst Normaler (Hering [58], vergl. auch Tscherning, Optique physiologique p. 288), ebenso bei Schielenden und bei Einäugigen findet sich eine event. recht erhebliche Verschiebung der subjektiven Medianebene gegenüber der objektiven Sagittalebene des Kopfes, also eine Verknüpfung der Qualität „gerade vorne“ für einen optischen Eindruck mit einer ganz anderen Augenstellung als beim Normalen. Auch erweist sich bei Schielenden — im Gegensatze zu dem Verhalten Normaler (Sachs und Wlassak [104]) — der Akkommodationszustand als von Einfluss auf die absolute Lokalisation (Tschermak [128]). Die Abbildungsverhältnisse, z. B. der Abschluss des einen Auges, sind allerdings in beiden Fällen von Bedeutung (Sachs und Wlassak [104], Bourdon [12], § 81, p. 149, Tschermak [126]). Die Augenstellung für „gleichhoch“, möglicherweise auch die für „geradevorne“, variiert endlich mit der Kopfhaltung.

V. Über die Herkunft der retinalen Lokalzeichen.

Die Analyse der Diskrepanzerscheinungen hat uns zu der Auffassung geführt, dass den Netzhautelementen an und für sich physiologisch begründete Lokalzeichen mit Höhen- und Breitenqualität, also subjektive Höhen- und Breitenwerte zukommen, allerdings im Sinne von Ordnungswerten, nicht von Massgrössen. Der jeweils wechselnde Masswert, die jeweilige bestimmte Sehrichtung des einzelnen Netzhautelementes, der subjektive Massstab des

ganzen Sehfeldes erwies sich als bestimmt durch eine ganze Reihe von Faktoren, welche zum Teil noch wenig geklärt erscheinen. Andererseits wurde der mitbestimmende Einfluss des Labyrinths, event. auch gewisser fremder Sinnesgebiete auf die Orientierung des Sehfeldes nach „scheinbar vertikal" und „scheinbar horizontal" und auf den subjektiven Massstab dargelegt und die Verknüpfung der absoluten Lokalisationsempfindungen „geradevorne" und „gleichhoch" mit bestimmten „sensorischen" Eindrücken der Augenmuskeln entwickelt.

Mag diese Auseinandersetzung bereits zu der Folgerung genügen, dass unsere optische Lokalisation nach Höhe und Breite primär und ganz wesentlich auf physiologischen Grundlagen beruht, ohne dass wir die Bedeutung der psychischen Faktoren auf dem ihnen eigenen Gebiete, so speziell bezüglich des subjektiven Massstabes, gering bewerten dürfen, so sei doch zum Schlusse die Frage nach dem nativen oder empirischen Charakter jener physiologischen Faktoren noch besonders behandelt.

Zunächst sprechen bereits zahlreiche Gründe dafür, dass die binokulare Lokalisation nach Höhe, Breite und Tiefe, dass die sensorische wie die motorische Verknüpfung der beiden Augen zu einem Doppelauge (Hering) auf einer angeborenen Grundlage ruht. Was aber für das Doppelauge recht ist, das erscheint wohl für das Einzelauge billig.

Für den kongenitalen Charakter der motorischen Korrespondenz (Joh. Müller [86], Aubert [sub 5], Hering [54 bis 58] — Helmholtz [49 bis 53] sowie Donders [33] contra)[1]) spricht zunächst die Tatsache, dass die Reizversuche am Grosshirn, am Kleinhirn bezw. an der Vestibularisleitung, sowie die Reizung am vorderen Paare der Vierhügel (wenigstens beim Hunde in der Regel; Adamük, Knoll) assoziierte Augenbewegungen ergeben, mit Ausnahme des anscheinend einseitig wirksamen Fokus im Gyrus coronalis des Hundes (Hitzig). Und zwar sind die okulomotorischen Effekte, wie sie vom präzentralen, okzipitalen und temporalen Blickzentrum aus erzielt werden, von allem Anfang an synergische. Dies gilt speziell auch für diejenigen Säugetiere, deren Hirnrinde erst einige Zeit nach der Geburt reizbar wird; für das Okzipitalhirn des Meerschweinchens fällt dieser Termin auf den 5. Tag, für das Kaninchen auf den 15., für die Katze auf den 14.—16., für den Hund auf den 40. Tag (Steiner)[2]).

Andererseits sind an menschlichen Neugeborenen gleichzeitige und gleichmässige Seitenbewegungen wie Vertikalbewegungen, seltener symmetrische Bewegungen der Bulbi zu beobachten (Hering [54, 58], Raehlmann und Witkowski [97], Donders [33], Cuignet [20], Genzmer [46], Raehl-

1) Vergl. auch Schneller, Zur Lehre von den dem Zusammensehen mit beiden Augen dienenden Bewegungen. Archiv f. Ophth. 38, Heft 1, 71—117, 1892.

2) Siehe näheres bei Tschermak, Physiologie des Gehirns. Handbuch der Physiol., herausgeg. von W. A. Nagel, Bd. IV, S. 1, 24, 29—31, 37—38, 177—179. 1905.

mann [98]). Allerdings kommen bei Neugeborenen daneben ausnahmsweise, besonders in schläfrigem Zustande, scheinbar einseitige Augenbewegungen vor (Schoeler [112], S. 41, Raehlmann und Witkowski [97], Preyer [96], Washburn Shinn) — ebenso bei Blinden bezw. operierten Blindgeborenen (Raehlmann [98]). Auch ist zu erwarten, dass bei nicht wenigen Individuen zunächst erhebliche Differenzen im okulomotorischen Apparate und damit in der Ruhelage beider Augen bestehen (F. B. Hofmann und A. Bielschowsky [62]).

Eine angeborene Grundlage der sensorischen Korrespondenz (Joh. Müller [86], Hering [54 bis 58] — Steinbuch [116], Helmholtz [49 bis 53], A. Nagel [90], Wundt [144], Classen [15], Schoeler [112] für Erwerbung mittelst der Augenbewegungen) ist daraus zu erschliessen, dass — offenbar von vornherein — wenigstens bei den höheren Säugern jeder Hinterhauptslappen beide Augen und zwar beiderseits ein bestimmtes äquilaterales Retinasegment, bezw. ein bestimmtes kontralaterales Gesichtfeldsegment, beherrscht (für den Affen H. Munk 1878, für den Hund Luciani und Tamburini, sowie H. Munk 1879 — für den Menschen Baumgarten 1878[1]). Die Frage nach der Bedeutung des Chiasma opticum darf allerdings mit jener Tatsache, sowie mit dem Problem des Binokularsehens nicht identifiziert oder vermengt werden. (Man vergleiche die Widerlegung des Newton-Müller-Guddenschen Satzes durch Tschermak[2]).

Jene Verknüpfung prägt sich ferner aus in der korrespondenten Lokalisation von Gesichtsfelddefekten nach einseitiger Verletzung, sowie von pathologischen Reizeffekten beim Menschen (Flimmerskotom — J. Müller [86], S. 71, E. Hering [58], S. 365)[3]).

Andererseits ist es nur unter Voraussetzung einer angeborenen sensorischen Korrespondenz und einer entsprechenden Reflexeinrichtung verständlich, dass die, wie oben erwähnt, gewiss nicht seltenen Ungleichheiten der Augenmuskeln beiderseits zunächst tonisch-funktionell, allmählich wohl auch unter anatomischer Fixierung kompensiert werden. Auch die Erfahrung, dass manche Tiere, speziell Insekten, Hühner, Enten, Ferkel schon unmittelbar nach der Geburt mit Hilfe des Gesichtssinnes sich im Raume orientieren, ist hier anzuführen (Hering [58], S. 366, Preyer [96], Raehlmann [98], Spalding). — Endlich zeigt die anormale Sehrichtungsgemeinschaft, wie sie gewisse Schielende entsprechend ihrer abnormen Augenstellung sekundär erwerben, einen anderen Charakter, speziell durch ihr Schwanken, als die stabile, elementare Korrespondenz (A. Tschermak [125, 128] gegenüber A. Graefes Identifizierung mit wahrer Korrespondenz). Die letztere

---

1) Näheres siehe bei Tschermak, Gehirn. Seite 76—84, 103—105.

2) Studien über das Binokularsehen der Wirbeltiere. Pflügers Archiv 91, 1902, S. 1–20.

3) Auch die assoziierten Augenbewegungen bei Reizung der Sehsphäre weisen auf jene sensorische Verknüpfung hin (Schäfer).

bleibt zudem, obwohl vom Schielenden nicht benutzt, neben dem anpassungsweise gebildeten Surrogat gewissermassen im Hintergrunde bestehen; bei vielen Fällen wenigstens ist dies sicher nachweisbar. Umgekehrt verliert sich die anomale Beziehung der Netzhäute nach gelungener operativer Richtigstellung der Augen häufig sehr rasch (allerdings nicht immer!).

Diesen Argumenten, welche für eine angeborene Grundlage der binokularen Lokalisation[1]) sprechen, seien noch einige Beweisgründe angefügt, welche nicht bloss mittelbar, sondern direkt für die unokulare Lokalisation nach Höhe und Breite dasselbe besagen.

Zunächst zeigten — nach Untersuchungen, welche W. Schlodtmann (111) auf meinen Vorschlag ausgeführt hat — Blindgeborene oder ganz frühzeitig Erblindete mit offenbar intakter Netzhaut, welche wohl hell und dunkel zu unterscheiden vermochten, jedoch noch so starke Lichtreize nicht lokalisieren konnten, prompte und bestimmte Lokalisation des Druckphosphens nach der Gegenseite des Druckes[2]). — Die alte Frage nach der Ursache des Aufrechtsehens trotz des umgekehrten Netzhautbildes ist demnach dahin zu beantworten, dass bei der funktionellen Differenzierung der Elemente des Sehorgans die Umkehrung des Bildes sozusagen eingerechnet ist, so dass den Elementen der unteren Netzhauthälfte das Lokalzeichen „oben“ zukommt usw.

Am nachdrücklichsten aber weist schon das blosse Bestehen von Diskrepanzen zwischen objektivem Lagewert und subjektivem Lokalisationswert, zwischen Richtungslinie und Sehrichtung nicht bloss auf eine physiologische Grundlage, sondern zugleich auf eine angeborene Grundlage der unokularen Breiten-Höhenlokalisation hin. Wäre es doch unverständlich, wie durch Erfahrung, durch individuellen Erwerb zwei wenigstens für das Einzelauge nicht symmetrisch gelegene, nicht von symmetrischen Aussenpunkten her gereizte Netzhautelemente im Auge ein symmetrisches Lokalzeichen erlangen sollten; auch der Hinweis auf das Verhalten beim

---

[1]) Die Argumente für eine angeborene Grundlage der binokularen Tiefenlokalisation — im Sinne von stereoskopischen Ordnungswerten, nicht von Masswerten — lasse ich nach den hier gesteckten Grenzen ausser Betracht. Bezüglich des Problems der Orthoskopie, vergl. L. Heine, Über „Orthoskopie“ oder über die Abhängigkeit relativer Entfernungsschätzungen von der Vorstellung absoluter Entfernung. Archiv f. Ophth. **51**, Heft 3, 563—572, 1900.

[2]) Ein Eingehen auf die Literatur über das Sehenlernen operierter Blindgeborener liegt nicht im Plane meiner Darstellung. Diese Frage bleibt für eine event. gesonderte Behandlung reserviert. Allerdings ist das bisher vorliegende Material sehr ungleichwertig, die Untersuchungsmethodik nicht selten sehr mangelhaft. Bezüglich der Umkehrbarkeit der Verknüpfung von Tastempfindungen und Gesichtseindrücken beim Normalen sei auf die bekannten Experimente von P. M. Stratton verwiesen (Some preliminary experiments on vision without inversion of the retinal image. III. Internat. Psychologenkongress. Bericht S. 193—194, 1897. — Upright vision and the retinal image. Psychol. Review **3** (6), 611—617, 1897. — Vision without inversion of the retinal image. Ibid. **4** (2), 182—187 und **4** (4, 5), 341—360, 463—481, 1897). Vergl. auch J. Czermak (25), ferner Hyslop, Upright vision. Psychol. Review **4**, 71—73, 142—163, 1897 und Goblot, La vision droite und Rev. philos. **44**, 476—493. 1897; Rev. d'ophth. **20**, 1—11, 77—89, 1898.

binokularen Sehen würde nicht viel nützen. Wie sollte ferner gerade ein vom Lot abweichender Netzhautmeridian, auf dem bei Primärstellung nur objektiv schiefe Linien zur Abbildung kommen, durch Erfahrung dazu kommen die Empfindung vertikal zu vermitteln — die nicht rechtwinkeligen Hauptschnitte zur Vermittelung des Eindruckes eines rechtwinkeligen Kreuzes? Umgekehrt zeigt es sich, dass der wirklich lotrechte Netzhautmeridian durch individuellen Erwerb, durch Anpassung für die Verhältnisse des gewöhnlichen Sehens eben dazu gelangen kann — allerdings ohne dass dabei der Längsmittelschnitt sein angeborenes Vorrecht verliert. Auch auf die Anpassungserscheinungen bezüglich des subjektiven Massstabes sei nochmals hingewiesen. — Dass die Diskrepanzen im allgemeinen beim gewöhnlichen Sehen sich nicht bemerkbar machen, beruht übrigens auf dem gleichzeitigen Gebrauch beider Augen mit angenähert symmetrischer Verteilung der Breitendiskrepanzen, dem Wandern des Blickes, dem korrigierenden und ergänzenden Einfluss der Erfahrung und des Gedächtnisses. Schon ihrem Betrage nach erscheinen die Diskrepanzen im allgemeinen klein genug, um leicht „übersehen“ zu werden. Andererseits sind sie aber doch gross und deutlich genug, um einen sicheren Nachweis zu gestatten und ein entscheidendes Argument zugunsten der physiologischen Theorie retinaler Lokalzeichen abzugeben. So kann uns das Studium jener reizvollen Phänomene, deren Detail oben geschildert wurde, zu keinem anderen Schlusssatze führen, als dem folgenden:

Die einäugige Lokalisation nach Höhe und Breite ruht auf einer physiologischen und zwar angeborenen Grundlage, derzufolge den einzelnen Mosaikelementen des Sehorgans nach subjektiver Höhe und Breite abgestufte Ordnungswerte zukommen, welche durch eine Anzahl von Faktoren beeinflusst werden und erst sekundär bestimmte subjektive Masswerte hinzuerhalten.